



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Instituudi nimetus

MANIPULAATOR MÄHISTE EEMALDAMISEKS KERIMISPINGIST

MANIPULATOR FOR REMOVING OF STATOR COILS FROM THE LOOPING MACHINE

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Arnold Koit
/nimi/

Üliõpilaskood 201550MATM

Juhendajad: Margus Müür, Lektor
/nimi, amet/

Maarjus Kirs, Teadur
/nimi, amet/

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"23" mai 2022

Autor: Arnold Koit

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"23 " mai 2022

Juhendajad: Margus Müür

/ allkiri /

Maarjus Kirs

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." mai 2022 .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Arnold Koit

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Manipulaator staatori mähiste eemaldamiseks kerimisingist, mille juhendaja on Margus Müür.
 - 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
 - 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
 2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
 3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.
-

_____ (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Arnold Koit 201550MATM
Õppekava, peeriala: MATM02/18 – Tootarendus ja tootmistehnika
Juhendaja(d): Margus Müür, Maarjus Kirs
Konsultant: -

Lõputöö teema:

Manipulaatori arendamine staatori mähiste eemaldamiseks kerimispingist
Developing a manipulator system for removing of stator coils from the looping machine.

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Kaardistada toodete variatsioon ning koostada seadme spetsifikatsioon
2. Leida sobilik kontseptuaalne lahendus
3. Koostada mehaaniline disain manipulaatori jaoks, valida põhikomponendid ning kirjeldada selle tööpõhimõtte.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Seadme parameetrite spetsifitseerimine	28.02.22
2.	Võimalike teisdavate toodete kaardistamine	28.02.22
3.	Võimalike olemas olevate lahenduste uurimine	13.03.22
4.	Seadme mehaaniline disain ja olulisemate komponentide valik	24.04.22
5.	Seadme tööpõhimõtte kirjeldamine	01.05.22
6.	Seadme tasuvuse analüüs	08.05.22
7.	Joonised ja lõputöö kirjutamine	22.05.22

Töö keel: Eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "23" mai 2022a

Üliõpilane: Arnold Koit "23" mai 2022a
/allkiri/

Juhendaja: Margus Müür "23" mai 2022a
/allkiri/

Juhendaja: Maarjus Kirs "23" mai 2022a
/allkiri/

Programmijuht: Martin Eerme "23" mai 2022a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	7
Lühendite ja tähiste loetelu	8
1 SISSEJUHATUS	9
2 SEADME PARAMEETRITE SPETSIFITSEERIMINE	13
2.1 Teisaldatavate toodete kaardistamine	13
2.2 Teisaldatava toote asendid	14
2.3 Tootmisala asendiskeem	15
2.4 Parameetrilised nõuded tõstesüsteemile	16
2.4.1 Nõuded tõste süsteemile	17
2.4.2 Nõuded haaratsi süsteemile	17
3 TURUL OLEVATE ALTERNATIIVIDE ANALÜÜS	18
3.1 Pneumatic Mechlif Pro™	18
3.2 Mechspace Pro™	19
3.3 Lift&Drive	19
3.4 Alternatiiv lahenduste kokkuvõtte	20
4 MORFOLOOGILINE SKEEM	21
4.1 Võimalike lahenduste hinnang ja hindamismatriks	22
5 SEADME MEHAANILINE DISAIN JA OLULISEMATE KOMPONENTIDE VALIK 25	
5.1 Haaratsi süsteem	25
5.1.1 Haaratsi silindrite valik	25
5.1.2 Haaratsite haarde ulatus ja selle reguleerimine vastavalt mähise pikkusele	28
5.1.3 Haaratsi LEM arvutus	29
5.2 Haaratsi süsteemi pöörd liikumine	33
5.2.1 Silindri valik pöörd liikumiseks	33
5.2.2 Pöörd sõlme „Lüli 2“ tugevus arvutus LEM	36
5.2.3 Silindri ja pöörd-lüli sõrme ristlõike kontroll	37
5.3 Tõsteseadme positsioon ruumis	40
5.3.1 Tõsteseadme silindri valik	40
5.3.2 Horisontaalselt liikumine töö ala ulatuses	41
5.3.3 Tõsteseadme pööramine ümber vertikaalse telje	42

5.4	Tõsteseadme poltliited	43
5.5	Vankri kinnitusraam.....	45
6	SEADME TASUVUSE ANALÜÜS	46
7	MANIPULAATORI OPEREERIMINE	48
	KOKKUVÕTE	50
	SUMMARY	51
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	52
	LISA 1 Toodete variatsioon	54
	LISA 2 Nõuete loetelu	55
	GRAAFILINE OSA.....	56

EESSÕNA

Antud magistritöö teema aluseks on ABB AS elektrimasinate tehases (edaspidi - M&G) vajadus parendada töökeskkonna ergonoomikat ja efektiivsust. Kõik vajalikud lähteandmed on kogutud ABB AS M&G tehases.

Töö käigus analüüsitakse mähiste gabariitide ja massi variatsioon mis on toodetud vaadeldaval tootmis liinil ning töö alale esitatavaid nõudeid. Saadud tulemuste põhjal on tehtud tehnoloogilised valikud ning nende põhjal järk-järgult koostatud manipulaatori sõlmed.

Konstrueeritud manipulaator kinnitatakse laes oleva kerg-sildkraana vankri külge, mis omakorda tagab ohutuma töö ala ja operaatori ergonoomilise töö.

Lühendite ja tähiste loetelu

LEM – lõplike elementide meetod (ingl k *Finite Element Method*, FEM)

M&G – masinate ja generaatorite tehas (ingl k **M**achine & **G**enerators Factory)

PLC – Programmeeritav loogikakontroller (ingl k **P**rogrammable **L**ogic **C**ontroller)

GA – Mähise kerimis mõõt, kerimissõrmede tsentrite vahe (mm)

DT – Kerimissõrme läbimõõt (mm)

d – Keritud mähise sisemine mõõt (mm)

Q – mähiste kogus staatoris (tk)

hst – mähise laius (mm)

bst – mähise kõrgus (mm)

1 SISSEJUHATUS

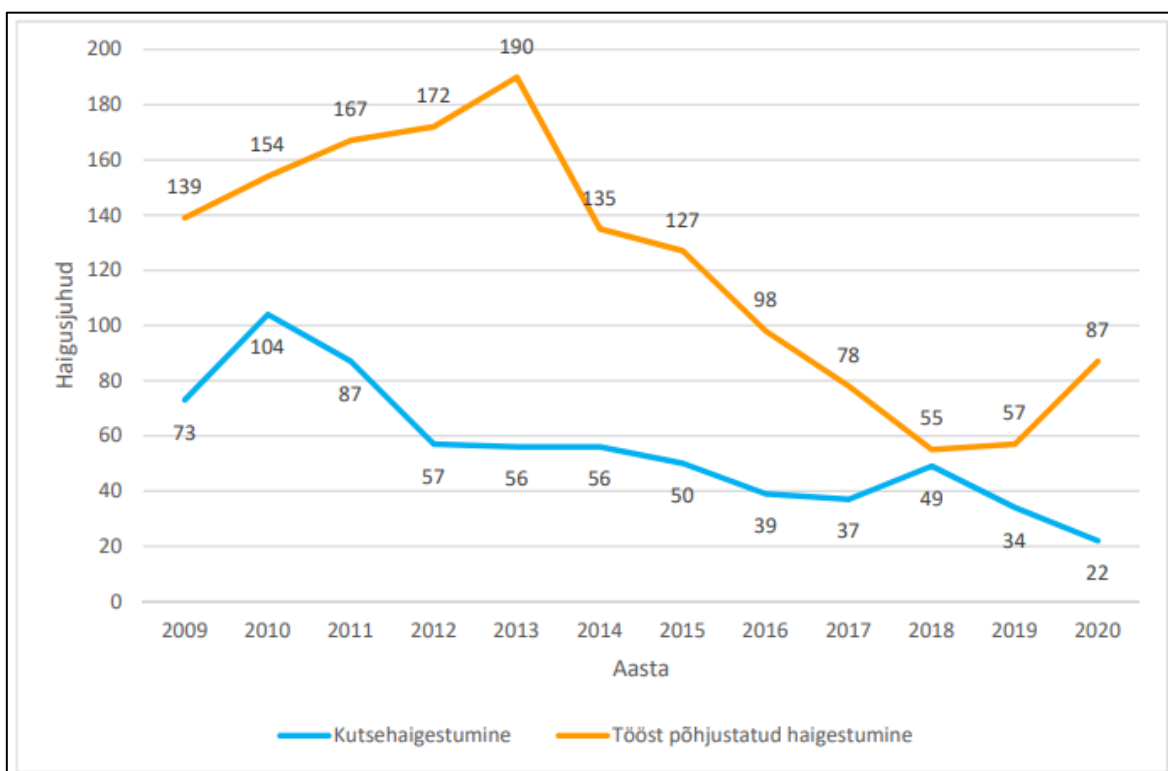
AS ABB Elektrimasinate ja Generaatorite tehases (edaspidi M&G) mähiste valmistuse osakonnas on mitmeid erinevaid töö etappe. Esimeseks etapiks on staatorite mähiste kerimine vasest. Mähiste parameetrite varieeruvus on suur, keritud mähiste mass ulatub kuni 60 kg ning pikkus kuni 4 m.

Seoses mähiste suure massiga ja pikkusega, valmis keritud mähiseid peab teisaldama kaks inimest. Ühes töö vahetuses valmistatakse kuni 100 mähist.

Vaadeldavas töö alas on paigaldatud kerg-sildkraana tõste võimega 500kg kuid antud süsteem ei võimalda keritud mähise ohutut ja stabiilset teisaldamist ning pööramist ühe operaatoriga.

Selleks, et näidata ergonoomika olulisust tootmises ning probleemi aktuaalsust, sai uuritud terviseameti poolt läbiviidud statistikat mis põhines andmetel mis koguti aastatel 2009-2020 [1].

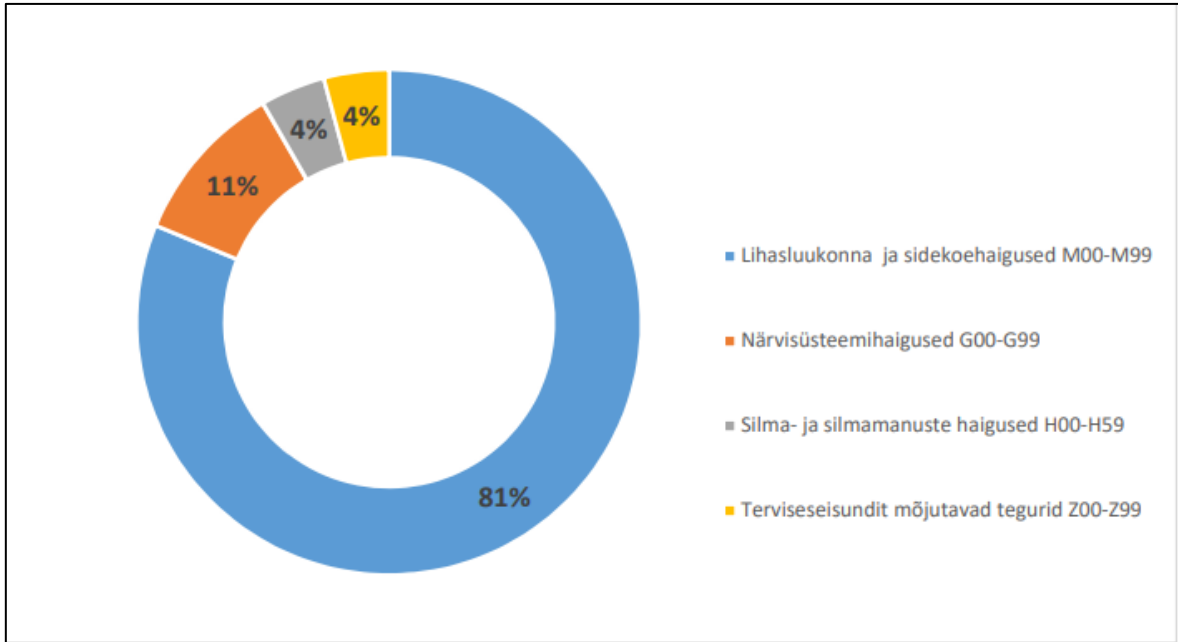
Terviseamet on läbiviinud uuringu kus analüüsitakse kutsehaigestumist ja tööst põhjustatud haigestumist 2020. aastal . Töötervishoiuarstid registreerisid 2020. aastal 22 uut kutsehaigestumise juhtu ning tööst põhjustatud haigestumine registreeriti 87 inimesel (Joonis 1-1).



Joonis 1-1 Kutsehaigus- ja tööst põhjustatud haigusjuhud aastatel 2009–2020 [1].

Kutsehaigustest diagnoositi töötajatel enim lihaskonna- ja sidekoehaiguseid ning järgnesid närvisüsteemahaigused (Joonis 1-2).

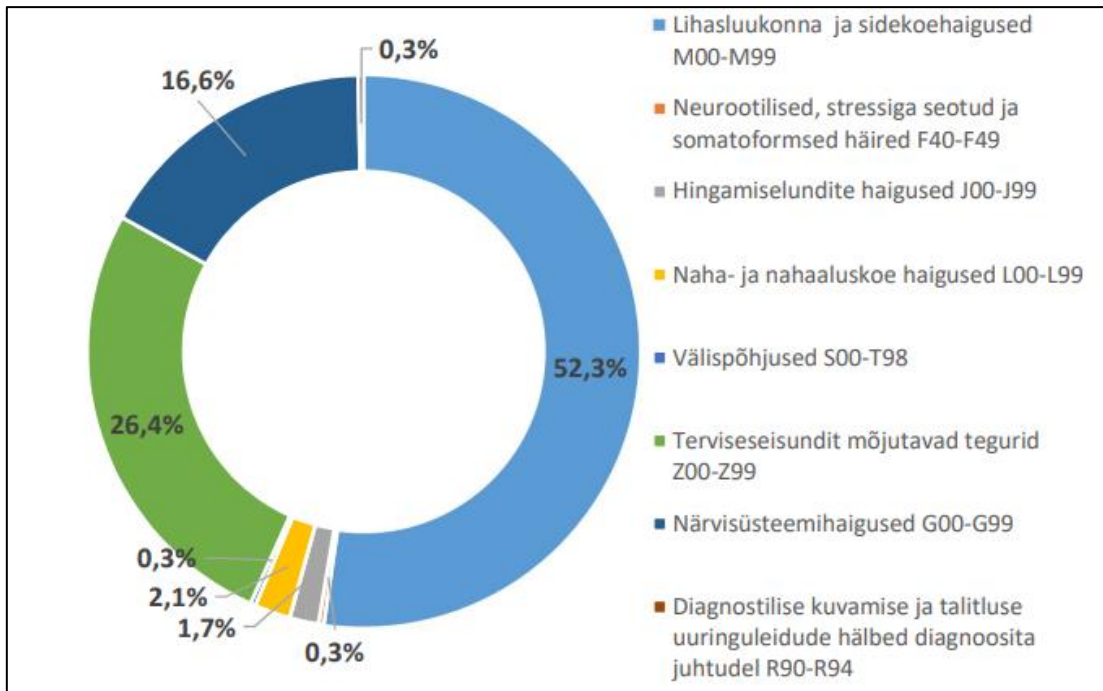
Lihaskonna- ja sidekoehaiguseid esineb ka ABB AS M&G tehase töötajatel. Kuna antud informatsioon on konfidentsiaalne ning haigusjuhtumite statistika pole kätte saadav, tuginen vaid isiklikule vestlusele operaatoritega erinevatest tootmisliinidest.



Joonis 1-2 2020. aastal diagnoositud kutsehaiguste osakaalud [1].

2020. aastal registreeriti tööst põhjustatud haigestumine kokku 87 töötajal, nendest 63 (72,4%) olid naised ning 24 (27,6%) mehed.

Sarnaselt kutsehaigestumisele, diagnoositi tööst põhjustatud haigestumise korral enim lihaskonna- ja sidekoehaiguseid (Joonis 1-3). Ühel haigestunud on enamasti mitu tööst põhjustatud haigust/seisundit.



Joonis 1-3 2020. aastal diagnoositud tööst põhjustatud haiguste osakaalud [1].

Lihaskonna- ja sidekoehaigustest diagnoositi enim rakenduse, ülepingutuse ja survega seotud pehmete kudede haigusseisundeid ning nimmevalu [1].

Vähendamaks tervise kahjustamise riske ning tööjõu kulutusi on otsustatud välja töötada mähiste teisaldus süsteem mille abil saaks üks operaator efektiivselt ja ohutult teisaldada kerituid mähiseid pikkusega 2 – 4 m massiga kuni 60 kg.

Leidmaks sobiliku lahenduse on käes oleva probleemi lahendus jagatud mitmeks etapiks.

1. Toodete variatsiooni ning spetsiifiliste parameetrite kaardistamine. Nõuete loetelu koostamine vastavalt töö alale ja tööprotsessidele, ning kogutud andmete põhjal.
2. Turul olevate lahenduste uurimine, mis vastaksid eelnevalt kogutud andmetele ja koostatud tehnilistele nõuetele.
3. Morfoloogilise skeemi koostamine, mille käigus tuleb vaadelda võimalike tehnilisi lahendusi erinevatele seadme sõlmedele.
4. Eelnevas punktis pakutud lahenduste hindamine ja valik.

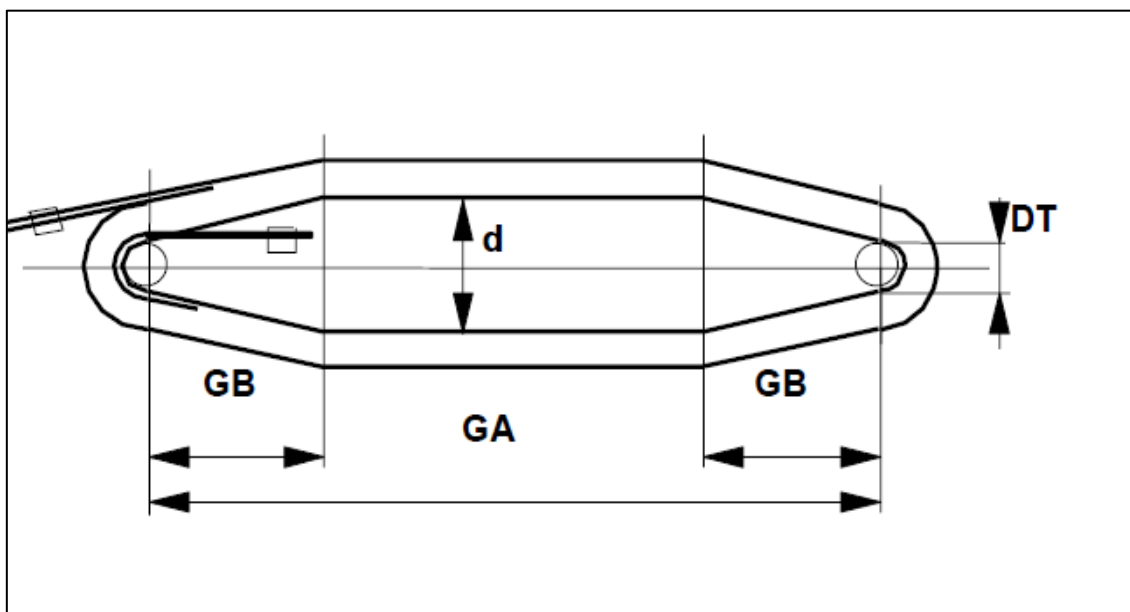
5. Seadme mehaaniline disain ja olulisemate komponentide valik. Siin töötatakse läbi järk järgult kõik sõlmed ning tehakse vajalikud arvutused, leidmaks sobivad komponendid.
6. Valminud lahenduse töö põhimõtte kirjeldamine.
7. Tehniliste jooniste koostamine mille põhjal saab valmistada välja töötatud detailid ning hiljem koostada.

2 SEADME PARAMEETRITE SPETSIFITSEERIMINE

Staatori mähiste tõsteseadme ja haaratsite spetsifitseerimisel on keskendunud standard tehnoloogial keritud mähistel (edaspidi T-liini mähised). Spetsifitseerimisel on arvestatud nii teisaldatava toote variatsiooniga, tootmis ümbruskonnaga ja operaatorite ergonoomika ja ohutusega.

T-liini mähiseid keritakse sõrmedel (vaata Joonis 2-1, tähis DT) mille läbimõõt on 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50 mm. Lisaks kerimis sõrmedele, osadel projektidel kasutatakse ka lisa laiendus sõrmed (vaata joonis 4, tähis d) läbimõõduga 90-110 mm.

Parameeter GB (Joonis 2-1) varieerub 120 -600 mm sõltuvalt disainist.



Joonis 2-1 ABB sisene juhend 3AFP9401040 Reeling data [2]

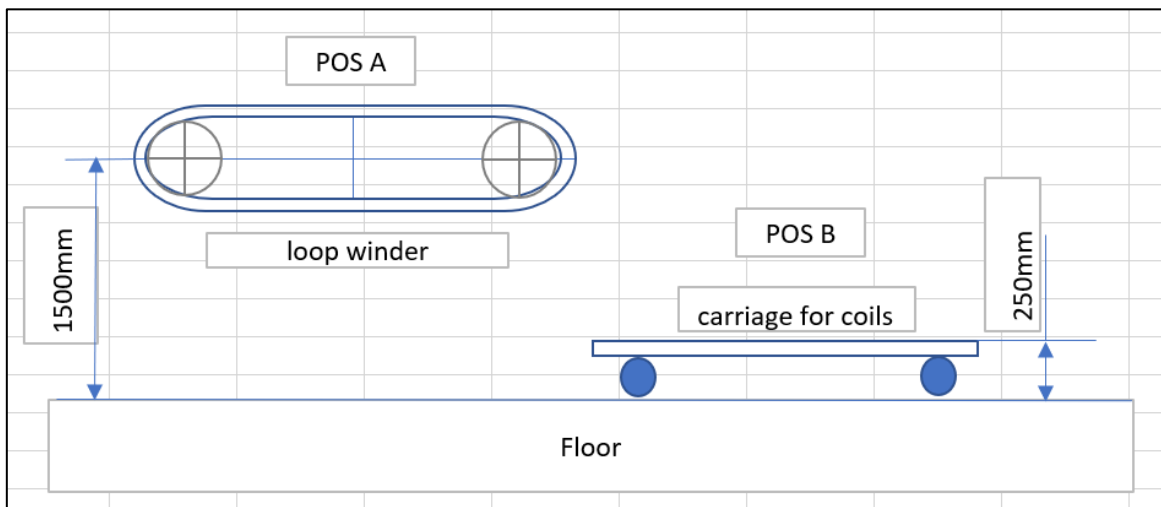
2.1 Teisaldatavate toodete kaardistamine

T-liini mähisevalmistuse osakonnas toodetakse laia variatsiooniga mähiseid. Väikseim mähise kerimis mõõt GA (Joonis 2-1) mida saab toota vaadeldava töö ala pingis on 500 mm ja suurim kerimis mõõt on 4000 mm. Vastavalt toodete kaardistamisele, on suurim mähise mass 61 kg.

Kuna antud projekt keskendub mähiste kerimispingi teenindamisele, siis kaardistatakse vaid keritud mähiste parameetrite variatsiooni. Põhilised toote variatsioonid on toodud LISA 1.

2.2 Teisaldatava toote asendid

Mähis keritakse selleks ettenähtud kerimisingis ning eemaldamise hetkel on mähise asend horisontaalne (Joonis 2-2 ja Joonis 2-3 Pos A). Mähise tsentri joon põranda pinnast on ligikaudu 1500 mm. Kerimisingist eemaldatud mähis kõigepealt paigutatakse abilauale kus teostatakse teipimine (Joonis 2-4 Pos B1) see järel ladustatakse transpordi kärule lapiti. (Joonis 2-2 ja Joonis 2-4 Pos B). mitmes kihis kasutades vahe-sildasid. Maksimaalne lubatud ladustamis kõrgus on 1500 mm põranda pinnast.



Joonis 2-2 Teisaldatava toote asendid



Joonis 2-3 Teisaldatava toote Pos A

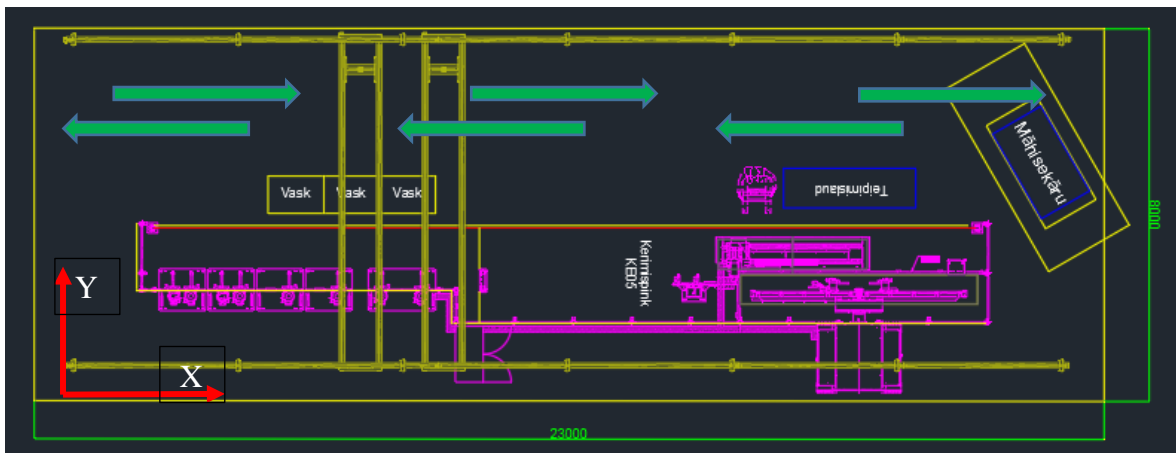


Joonis 2-4 Teisaldatava toote Pos B₁ ja B

2.3 Tootmisala asendiskeem

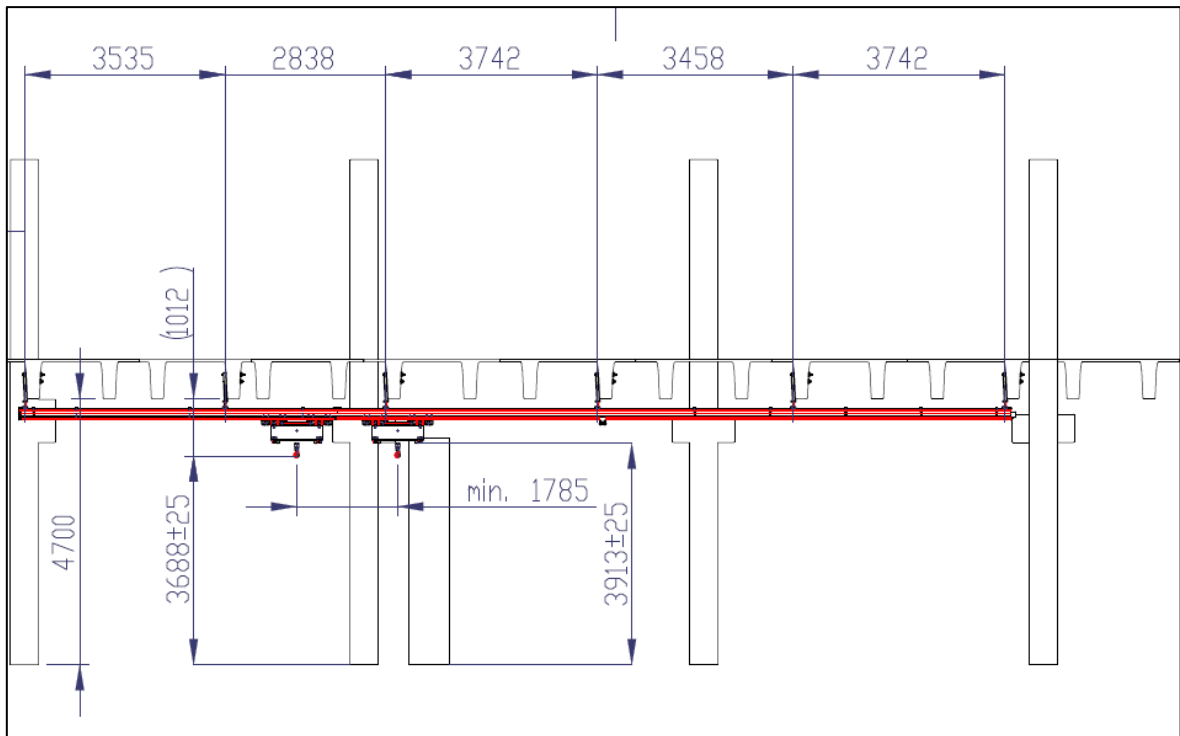
Töö ala on 23 x 8 m (Joonis 2-5). Töö alas on ettenähtud nii materjali kui ka toote transportimine, liikumis tee märgitud roheliste nooltega (Joonis 2-5).

Kerimispingi kohal lae paneelide külge on paigaldatud kerg-sildkraana kahe vankriga (Joonis 2-5 ja Joonis 2-6), mõlema vankri tõste võime on 500 kg.



Joonis 2-5 Tootmis ala pealt vaade

Kerg-sildkraana vankri kõrgus põrandast on ligi kaudu 3920mm (Joonis 2-6)



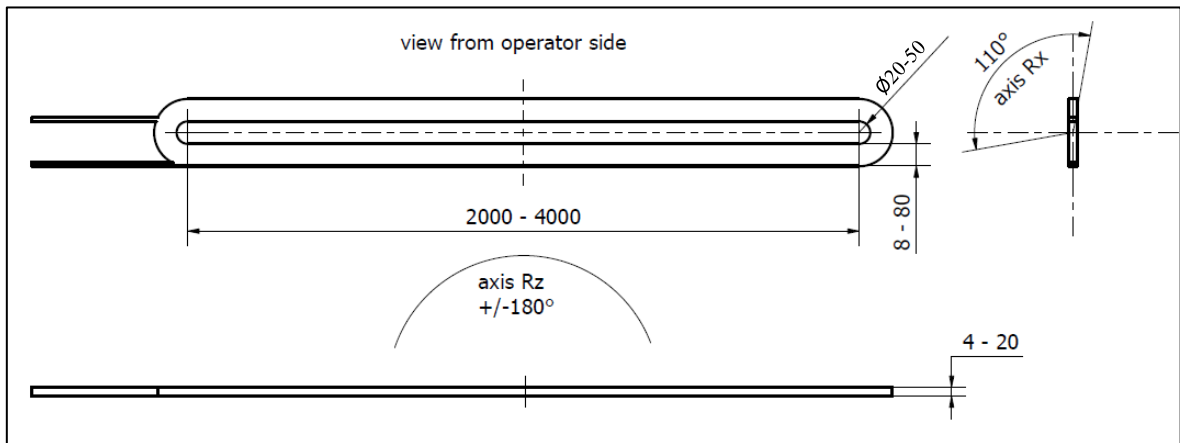
Joonis 2-6 Kraana paigaldus skeem OÜ Eesti Kraanavabrik

2.4 Parameetriselised nõuded tõstesüsteemile

Antud peatükis on kirjeldatud üldised parameetriselised nõuded tõsteseadmele mis peavad olema täidetud, tagamaks tõsteseadme efektiivsuse.

Tõste- ja haaratsi süsteemide nõuete loetelus (LISA 2) on arvestatud keritud mähiste parameetritega mis on näidatud (Joonis 2-7). Nõuete koostamisel on määratletud väikseim ja suuri mähise pikkus mida soovitakse teisaldada tõsteseadmega, mähise sirge osa väikseim ja suurim kõrgus ja laius, mähise sirge osade väikseim ja suurim vahe, mähise mass, alg- ning lõpp asendite kõrgused maapinnast. Samuti on arvestatud vajalike translatoorsete ja ka pöörd liikumistega (Joonis 2-7).

Nõuete olulisuse hindamisel on kasutatud 5 punkti süsteemi, kus 5 väljendab nõuet, mis peab olema tingimatult täidetud ning 1 väljendab nõuet, mida võiks võimalusel arvestada, kuid mille arvelt on võimalik teha järeleandmisi. Nõuded ja nende olulisuse hinnang on toodud LISA 2.



Joonis 2-7 Mähise parameetrid ja pöörd liikumised

2.4.1 Nõuded tõste süsteemile

Tõste võimekus peab olema mehhaniseeritud ja lihtsasti kasutatav. Tõste süsteemi ajamite rakendamine peab olema kas pneumaatiline või elektriline. Ülesse – alla liikumise kiirus peab olema valitud selliselt, et operaator jõuaks reageerida häda olukorras ja peatada liikumise enne kui juhtub kokkupõrge teiste seadmete või inimestega kuid mitte kiirem kui 100 mm/s.

Tõste süsteem peab olema ruumiliselt kompaktne ning katma kerimispingi kogu töö ala (vaata Joonis 2-5 ja Joonis 2-6).

2.4.2 Nõuded haaratsi süsteemile

Haaratsite arv ja ulatus peab tagama keritud mähise toetuse selliselt, et oleks välistatud mähise deformeerumine, mähise parameetrid on toodud (Joonis 2-7). Haaratsi reguleerimisele ei tohi kuluda rohkem aega kui 15 min.

Haaratsi materjal ja surve jõud peavad tagama hea haarde mis takistab toote liikumist teisaldamisel, kuid välistama mähise isolatsiooni vigastamist.

Haaratsite rakendamine peab olema kas elektriline või pneumaatiline.

3 TURUL OLEVATE ALTERNATIIVIDE ANALÜÜS

Turul pakutavate lahenduste otsimisel on üheks sobivaks toote pakkujaks Rootsi ettevõtte Movomech.

3.1 Pneumatic Mechlifft Pro™

Pneumatic Mechlifft Pro™ (Joonis 3-1) on mitmekülgne pneumaatiline manipulaator, mis sobib tõstmiseks kuni 150 kg raskuste korral. Tõstuki ülemine kinnitus võib olla fikseeritud või pööratav. Alumise sektsiooni saab varustada erinevate tööriistaadapteritega, kas pöörlemisega või ilma.

Antud seade on valmis integreerimiseks haaratsi tööriistaga. Pneumaatiline haardetööriist ja juhtseadmed on hõlpsasti integreeritavad tööriistaadapteriga.



Joonis 3-1 Mechlifft Pro [3]

3.2 Mechspace Pro™

Mechspace Pro™ (Joonis 3-2) on pneumaatiline momenti neelav tööstuslik manipulaator kuni 150 kg koormustele ja kuni 1500 Nm pöördemomendile. Mechspace Pro™ on äärmiselt lihtne manööverdada ja võimaldab ergonoomilist käsitsemist suurel tööalal.

Mechspace Pro™ on saadaval kahes versioonis: ripp- või sammaskinnitusega. Selle momendi neeldumisvõime pakub suuri eeliseid keeruka geomeetriaga esemete käsitsemisel, samuti ekstsentriliste koormate haaramisel ja pööramisel.

Mechspace Pro™ on saadaval mitme pneumaatilise versioonina: tasakaalustatud 1 või 2 fikseeritud koormuse jaoks.



Joonis 3-2 Mechspace Pro™ [4]

3.3 Lift&Drive

Lift&Drive (Joonis 3-3) on mobiilsed tõstelahendused tööstus- ja teenindusorganisatsioonidele.

Integreeritud ümberkukkumis- ja kinnituskaitse Kõikidel Lift&Drive™ kärudel on sisseehitatud lahti haakimis funktsioon, mis toimib kalde- ja muljumiskaitkena. See funktsioon lülitab langetusliigutuse automaatselt välja, kui koorem langetamise ajal jääb kinni.

Lift&Drive™ tõstekäru on akutoitel ning vajavad väga vähe hooldust. Tõstepostil on kruvi ülekanne, mis muudab tõstekäru töökindlaks ja vastupidavaks.



Joonis 3-3 Lift&Drive [5]

3.4 Alternatiiv lahenduste kokkuvõtte

Vaadeldud seadmetest võiks nimetada potentsiaalselt sobivateks kaks esimest lahendust, Mechlift Pro (Joonis 3-1) ja Mechspace Pro (Joonis 3-2), kuna mõlemad süsteemid on võimalik paigaldada lae alla ning see tagaks suurema töö ala.

Seade Lift&Drive (Joonis 3-3) ei ole üldse sobiv, kuna tema konstruktsioon ei võimalda vabalt liikuda töö ala ulatuses ning tugiraam ratastega ei võimalda liikuda kerimispingile piisavalt lähedale, et saaks eemaldada mähise pingist. Samuti takistab raam ratastega vaba liikumise ümber kärude millele ladustatakse valmis keritud mähiseid.

Kõik ülal vaadeldud seadmed vajavad kas konstruktiivseid muudatusi või ei ole üldse sobivad oma konstruktsiooni või madala tõstevõimekuse tõttu. Võttes arvesse, et suurim tõstevõime on 150 kg ja mähise suurim mass on 60 kg, on väga tõenäoline, et konstrueeritav haarats koos pöörd süsteemiga ületab ülejäänud massi varu 90 kg.

4 MORFOLOOGILINE SKEEM

Morfoloogilises skeemis (Tabel 4–1) on kaardistatud erinevad võimalikud lahendused erinevatele funktsioonidele ja sõlmedele. Antud skeem on ettevalmistus potentsiaalsete lahenduste hindamiseks. Võimalike lahenduste hulgast on välja jäetud hüdraulika süsteem, kuna õli lekked võivad viia suurte kvaliteedi probleemideni ning kokkuvõttes toovad ka lisa kulutusi.

Tabel 4–1 Morfoloogiline skeem

Funktsioon	FK -funktsiooni kandja/ TP- töö põhimõtte				
Seadme positsioneerimine	TP	Post	Teisaldatav vahend ratastel	sildkraana	
	FK	Põrand		Lagi	
Vertikaalne liikumine (mähise tõstmine ja langetamine)	TP	Elektri ajam Pneumo ajam	Elektri ajam Pneumo ajam	Elektri ajam Pneumo ajam	Elektri ajam Pneumo ajam
	FK	Kett	Tross	Silinder	Hammaslatt
Pööramine ümber vertikaalse telje	TP	Elektri ajam Pneumo ajam	Elektri ajam Pneumo ajam	Elektri ajam Pneumo ajam	Operaator pöörab manuaalselt
	FK	Rihm ülekanne	Kett ülekanne	Hammas - rattas	Manuaalne
	Surve rull-laager / Tugirull-laagrid				
	Tugikuullaager				
	Koonus laager				
Horisontaalselt liikumine töö ala ulatuses	TP	2 elektri ajamit X ja Y teljel liikumiseks	2 pneumo ajamit X ja Y teljel liikumiseks	Operaator lükkab X ja Y teel	
	FK	Elektri ajam (tross; kett;hammaslatt)	Pneumo ajam (tross; kett; hammaslatt)	manuaalne	
Haaratsi pööramine 110°	TP	Elekter	Pneumaatiline	Elekter	Pneumaatiline
	FK	Silinder (lineaarne)		Pöörd ajam	
Haaratsite rakendamine	TP	Elekter	Pneumaatiline	Elekter	
	FK	Silinder		Solenoid	
Haaratsite haarde vahe reguleerimine vastavalt mähise kõrgusele	TP	PLC programmeeritav		manuaalne	
	FK	Elektriline silinder Pneumo silinder		Seade kruvi	
Haaratsite vahe reguleerimine vastavalt mähise pikkusele	TP	PLC programmeeritav		manuaalne	
	FK	Elektriline silinder Pneumo silinder		Seade kruvi	

4.1 Võimalike lahenduste hinnang ja hindamismatriks

Morfoloogilises skeemis toodud funktsioonikandjatest on vaja valida lahendused, mis sobiksid kõige paremini tõste seadme funktsionaalsuse ja operaatori ergonoomika tagamiseks. Järgnevalt (Tabel 4–2) on hinnatud erinevaid lahendusi konstruktsiooni sõlmede ja funktsionaalsuse lahendamiseks kus madalaim hinne on 1 ja kõrgeim on 5.

Hinnang on antud vastavalt nõuete loetelule mis on toodud välja tabelis LISA 2.

Tabel 4–2 Hindamistabel

Funktsioon	Lahendus / Funktsiooni kandja	kriteerium			
		Tehniline lahendus parameetrite täitmine	Töökindlus	Lahendus hind	Kokku kaalutud hinne
		Nõude kaal			
		0,3	0,4	0,3	-
Seadme positsioneerimine/teenindatav ala	Põrand-Post	3	4	3	3,4
	Põrand-Teisaldatav vahend ratastel	1	5	4	3,5
	Lagi-sildkraana	5	4	3	4
Vertikaalne liikumine (mähise tõstmine ja langetamine)	Kett	3	3	3	3
	Tross	1	2	3	2
	Silinder	5	5	2	4,1
	Hammaslatt	2	4	3	3,1
Pööramine ümber vertikaalse telje	Rihm ülekanne	4	3	2	3
	Kett ülekanne	3	3	2	2,7
	Hammasrattas	3	4	2	3,1
	Manuaalne	2	5	5	4,1
Horisontaalselt liikumine töö ala ulatuses	El.ajam (tross; kett;hammaslatt)	1	3	2	2,1
	pneumo ajam (tross; kett; hammaslatt)	1	3	2	2,1
	manuaalne	3	5	5	4,4

Funktsioon	Lahendus / Funktsiooni kandja	kriteerium			
		Tehniline lahendus parameetrite täitmine	Töökindlus	Lahendus hind	Kokku kaalutud hinne
		0,3	0,4	0,3	-
Haaratsi pööramine 95-110°	Silinder pneumaatiline	4	4	4	4
	Silinder elektriline	5	4	3	4
	Servo ajam reduktoriga	3	3	2	2,7
Haaratsite rakendamine, Survejõu kontrollimine	Elektriline Silinder	5	4	3	4
	Pneumo silinder	4	4	4	4
	Solenoid	2	4	4	3,4
Haaratsite haarde vahe reguleerimine vastavalt mähise kõrgusele	Elektriline silinder PLC programmeeritav	5	4	3	4
	Pneumo silinder PLC programmeeritav	4	5	4	4,4
	manuaalne Seade kruvi	1	5	5	3,8
Haaratsite vahe reguleerimine vastavalt mähise pikkusele	Elektriline silinder PLC programmeeritav	5	3	2	3,3
	Pneumo silinder PLC programmeeritav	5	4	2	3,7
	manuaalne Seade kruvi või muu lahendus	1	5	5	3,8

Vastavalt hindamis tabelile said valitud tehnilised lahendused erinevatele sõlmedele ja funktsiooni kandjatele.

Seadme positsioneerimine/teenindatav ala – valitud on sildkraana, kuna selline lahendus tagab maksimaalse töö ala ning manööverdamise võimekuse mähiste ladustamise kärude vahel.

Vertikaalne liikumine (mähise tõstmine ja langetamine) – Antud funktsiooni täitmiseks oma töökindluse tõttu kõige sobilikum on silinder.

Pööramine ümber vertikaalse telje – valituks osutus manuaalne pööramine nii hinna, töökindluse kui ka ohutuse tõttu.

Horisontaalselt liikumine töö ala ulatuses – nii nagu eelnev punkt, sai valituks manuaalne lahendus nii hinna, töökindluse kui ka ohutuse tõttu.

Haaratsi pööramine 95...110° – Kuigi nii elektriline kui ka pneumaatiline silinder said võrdselt punkte, sai valituks pneumaatiline silinder oma hinna ja gabariitide tõttu.

Haaratsite rakendamine, Survejõu kontrollimine - Kuigi nii elektriline kui ka pneumaatiline silinder said võrdselt punkte, sai valituks pneumaatiline silinder oma hinna ja gabariitide tõttu.

Haaratsite haarde vahe reguleerimine vastavalt mähise kõrgusele – Vaatamata sellele, et elektriline silinder võimaldaks täpsemalt reguleerida haarde vahe reguleerimist on pneumaatilise silindri valik parem oma gabariitide ja hinna tõttu.

Haaratsite vahe reguleerimine vastavalt mähise pikkusele – Valitud on manuaalne lahendus oma lihtsuse ja odavuse tõttu. Samuti, antud lahendus võib tähendada väiksemat massi mis on oluline aspekt.

5 SEADME MEHAANILINE DISAIN JA OLULISEMATE KOMPONENTIDE VALIK

Kogu konstruktsiooni lahenduses on soovitatav kasutada standard tooteid, seega on otsustatud kasutada korpuse koostamiseks standardset alumiinium profiili MiniTec ning liikumis funktsiooni rakendamiseks Festo komponente.

Antud valik tagab seadme modulaarsuse ja vajadusel lihtsama täiendamise vastavalt muutuvate tehniliste nõuetele.

5.1 Haaratsi süsteem

Haaratsite süsteem peab tagama kindla mähise fikseerimise kogu teisalduse protsessi vältel. Haaratsi funktsionaalsus peab katma kogu mähiste toote variatsiooni, mis on toodud nõuete loetelus LISA 2.

5.1.1 Haaratsi silindrite valik

Selleks, et vältida teisaldatava mähise suurt läbipainduvust, tuleb mass jaotada mitme haaratsi vahel. Kogemuslikult saab öelda, et mähisele pikkusega 3,5m on sobiv 6 punktist toestamine.

Selleks, et leida sobilik minimaalne haaratsi jõud, tuleb mähise mass 60 kg (600 N) jagada 6 punkti vahel, igas punktis on 2 haaratsit. Seega mähise mass 600 N jaotub 12 haaratsi vahel.

Massi jaotuse arvutus ühele haaratsile:

$$F_{haarats\ min} = m_{mähis\ max} / 12 = 600 / 12 = 50\ N$$

$$F_{haarats} \geq F_{haarats\ min}$$

Kus:

$F_{haarats\ min}$ – Vähim jõud mähise hoidmiseks

$F_{haarats}$ – Haaratsi surve jõud

Tuleb valida silinder mille surve jõud on $\geq 50\ N$

Festo kataloogist said valitud alljärgnevad komponendid:

Mini slide DGST-16-80-Y12A ja Guided drive DFM-16-100-B-PPV-A-KF

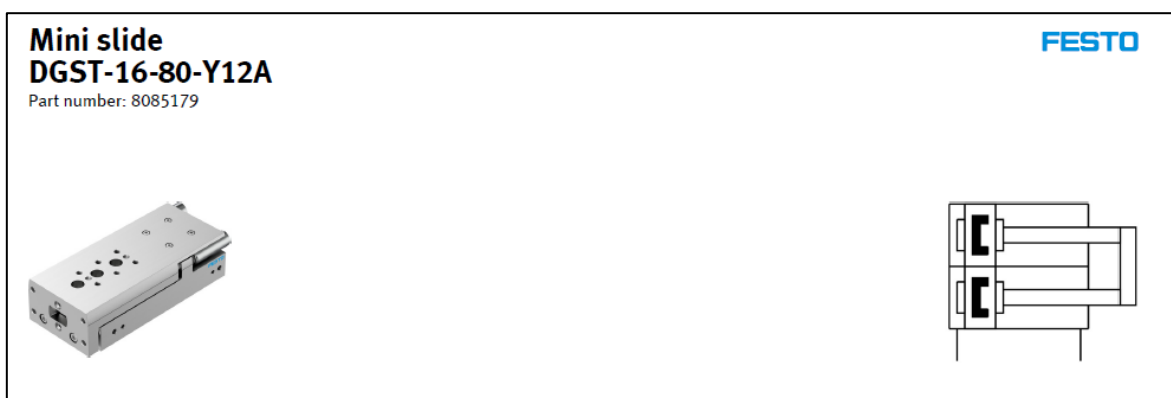
Mini slide DGST-16-80-Y12A

Antud silinder (Joonis 5-1) on vastavalt mähise sisemise vahemiku reguleerimiseks ja mähise fikseerimiseks.

Vastavalt tootja spetsifikatsioonile [6] on käigu pikkus 80 mm. Töörõhul 6 bar teoreetiline sisse liikumise jõud on 207 N ja välja liikumisel 241 N.

Antud silinder sai valitud eeskätt selle käigu ulatuse tõttu, mis tagab vajaliku käigu pikkuse vastaval mähiste sise-mõõdu variatsioonile 20-90 mm.

Antud silindrit kasutatakse positsioneerimis anduriga mis võimaldab juhtpaneelist seadistada avatud ja suletud haaratsi asendi vastavalt mähise sise-mõõdule.



Joonis 5-1 Mini slide DGST-16-80-Y12A [6]

Guided drive DFM-16-100-B-PPV-A-KF

Valitud silinder (Joonis 5-2) haarde ulatuse reguleerimiseks vastavat mähise välimise mõõdule ja mähise fikseerimiseks.

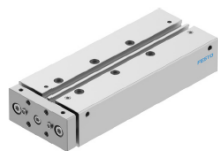
Vastavalt tootja spetsifikatsioonile [7] on käigu pikkus 100 mm. Töörõhul 6 bar teoreetiline sisse liikumise jõud on 90 N ja välja liikumisel 121 N.

Antud silinder sai valitud eeskätt selle käigu ulatuse tõttu, mis tagab vajaliku käigu pikkuse vastaval mähiste välimise mõõdu variatsioonile (mähise külje kõrgus 80 mm).

**Guided drive
DFM-16-100-B-PPV-A-KF**

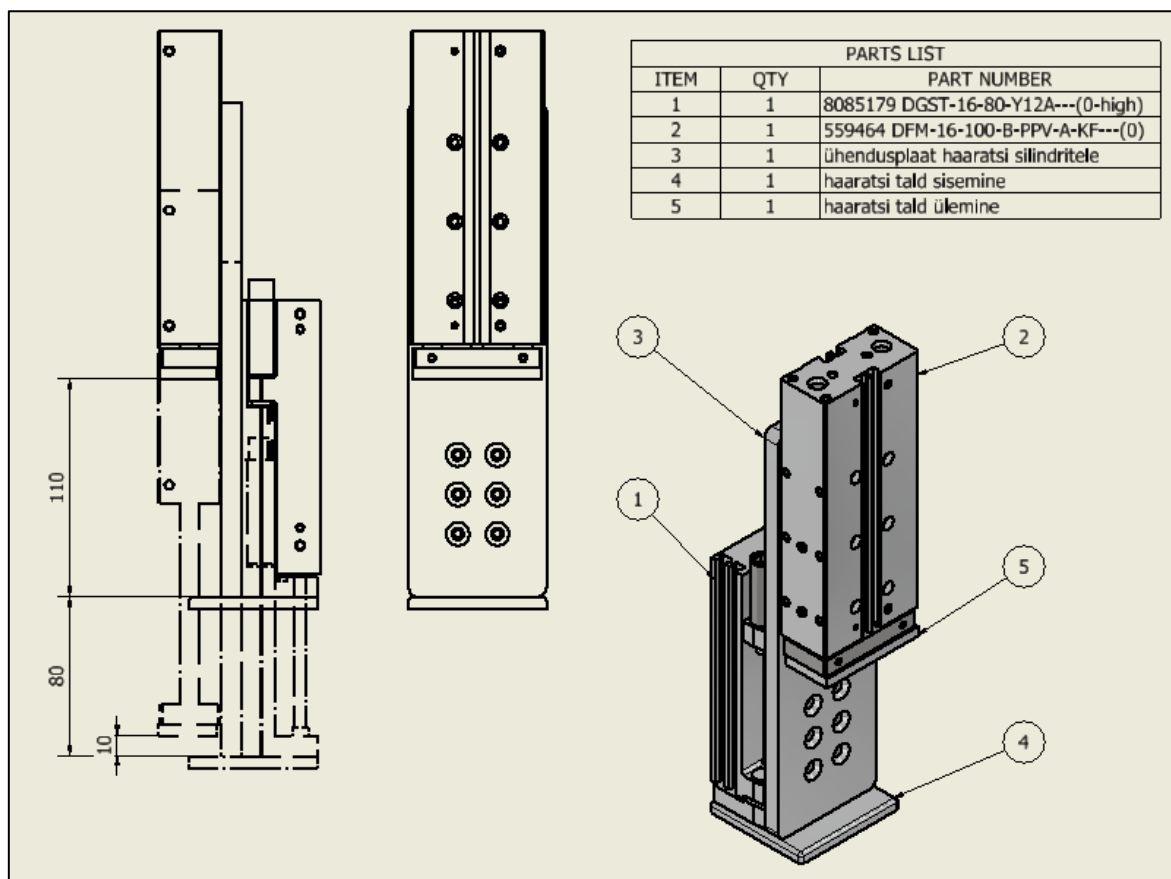
Part number: 559464

FESTO



Joonis 5-2 Guided drive DFM-16-100-B-PPV-A-KF [7]

Ülal toodud silindrid moodustavad klambrisüsteemi (Joonis 5-3), mis tagab mähiste fikseerimise.



Joonis 5-3 Haaratsi silindrite koost „klambrisüsteem“

Alumine tald (mähise sisemine mõõt) liigub 80 mm ulatuses, mis tagab ka piisava varu ohutuks mähise haaramiseks.

Ülemise talla käik on 110 mm. Selleks, et vältida mähiste vigastamist on arvestatud vaba ruum nii mähise ülemise kui ka alumise pindade vahele 15 mm mis võimaldab haarata mähised mille külje kõrgus on minimaalselt 10 mm ning maksimaalselt 80 mm.

5.1.2 Haaratsite haarde ulatus ja selle reguleerimine vastavalt mähise pikkusele

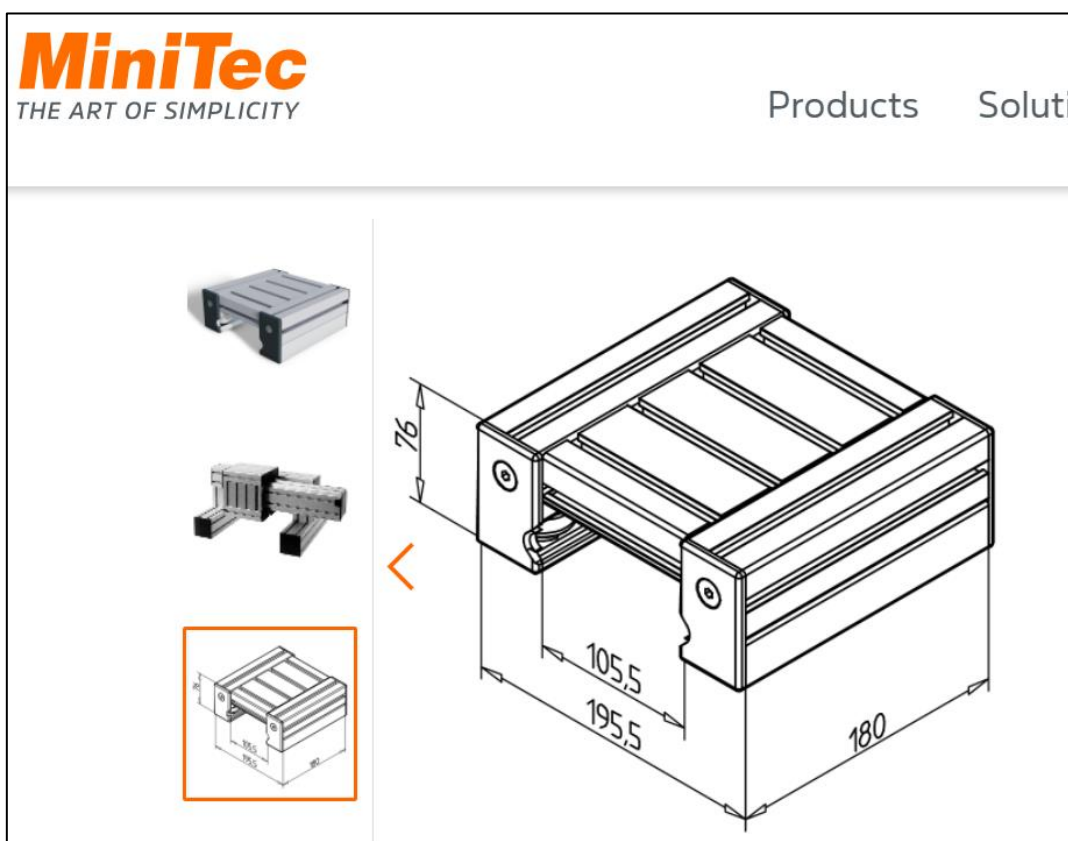
Selleks, et tagada haaratsi normaalne töö mähiste eemaldamise kerimispingist, ei tohi haaratsi raam painduda äärmistes punktides rohkem kui 5 mm. Antud väärtus on kogemuslik ning vajalik, et välistada mähise isolatsiooni vigastamist mähise eemaldamisel seadme kerimissõrmedelt.

Võttes arvesse kerimispingi konstruktiivset eripära ei saa haarde ulatus olla sama, mis maksimaalne mähise pikkus. Äärmine haarats peab mähise otsa raadiusest olema eemal vähemalt 300 mm, et tagada kerimisping liikuvate osade vaba liikumise mähise vabastamisel kerimis pingist.

Maksimaalne mähise pikkus GA on 4000 mm, seega vajalik maksimaalne haarde ulatus on $4000 - (2 \times 300) = 3400$ mm.

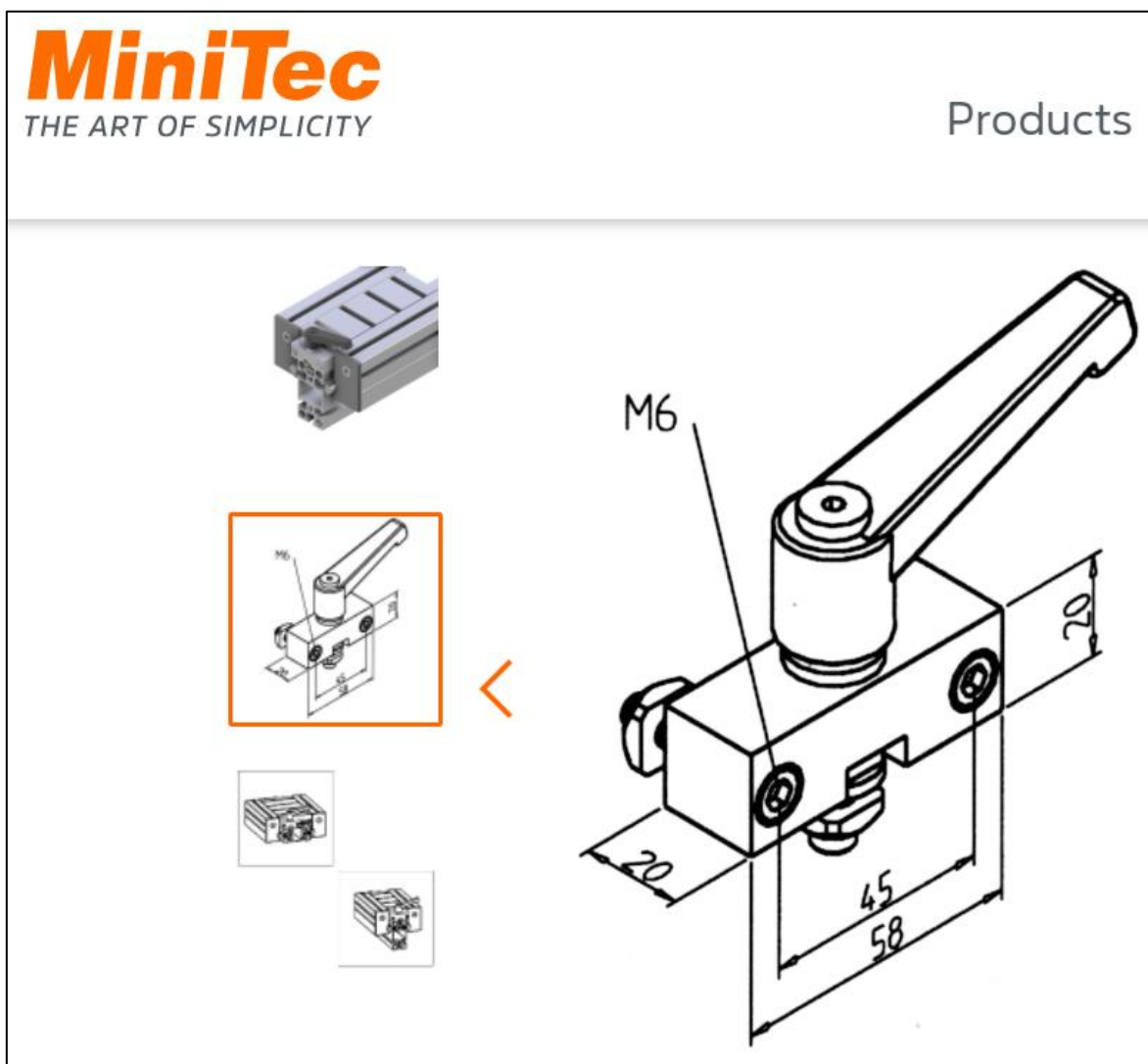
Vastavalt nõuete minimaalne haarde ulatus on 2000 mm.

Haaratsi haarde ulatuse reguleerimiseks on valitud Minitec liugur „Slide LW90“ (Joonis 5-4).



Joonis 5-4 Slide LW90 [8]

Positsiooni fikseerimiseks on valitud lukusti „Slide clamp unit LWGLWNLW“ (Joonis 5-5). Valitud lukusti süsteem on töökindel ning võimaldab operaatoril lihtsasti seadistada haaratsite positsiooni vastavalt keritud mähise mõõtudele.

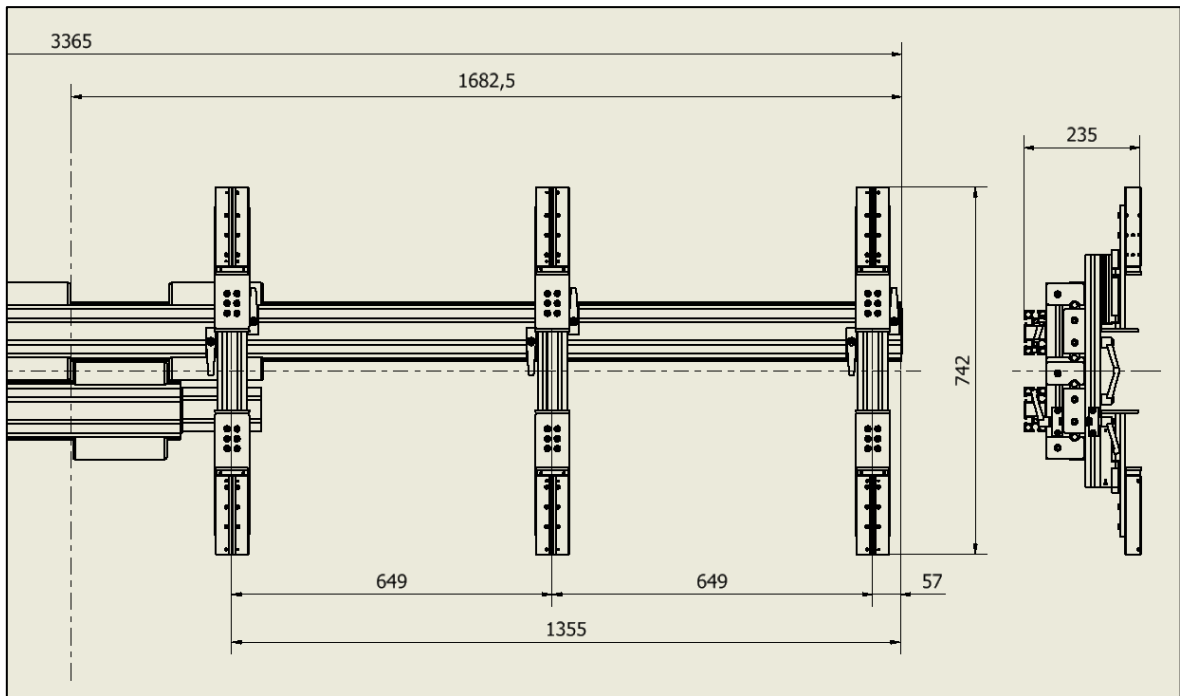


Joonis 5-5 Slide clamping unit LWG / LWN / LW [9]

5.1.3 Haaratsi LEM arvutus

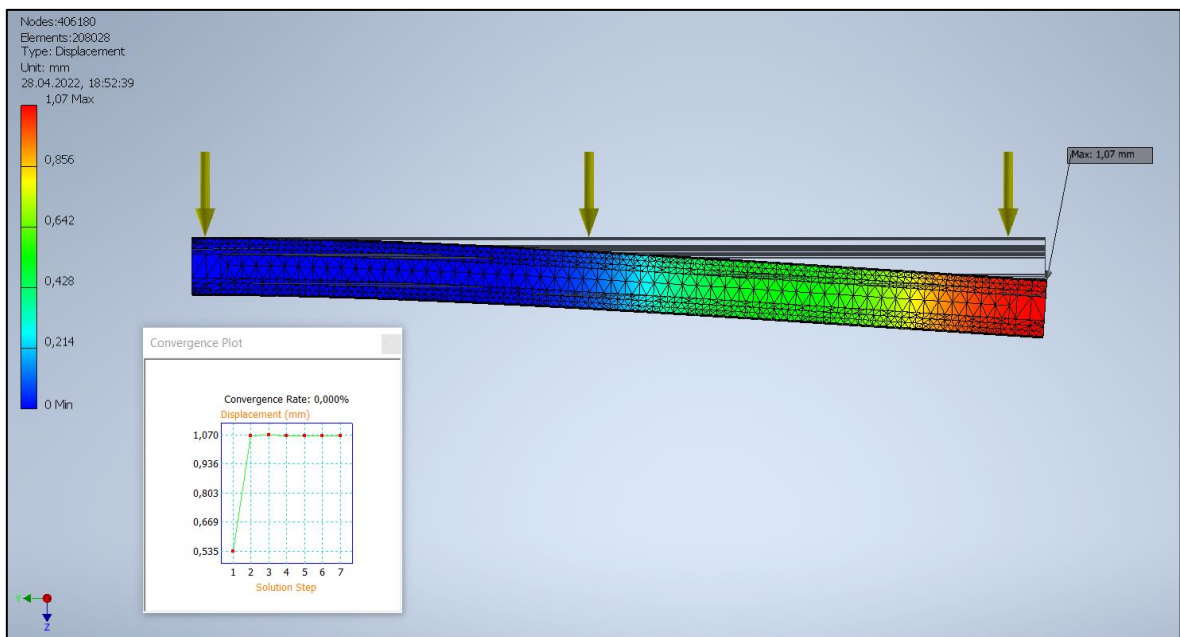
Arvutusel võetud arvesse ühe haaratsi pikkuse viimasest tugipunktist (tugirull), mis on 1320 mm. Tugevus arvestus (LEM) on teostatud profiilile 45x90 ilma juhtsiiniga.

Koormusel on arvestatud, et suurim mähise mass on 60 kg, mis jaguneb haaratsi klambrisüsteemi paaride vahel. Haaratsil on kokku 6 klambrisüsteemi paari ning ühe profiili (ühele poole) külge kinnitub 3 klambrisüsteemi paari (Joonis 5-6). Klambrite paigutus on arvestatud võrdsel kaugusel üks teisest. Igale klambrisüsteemi paarile on rakendatud koormus 100 N (10 kg).



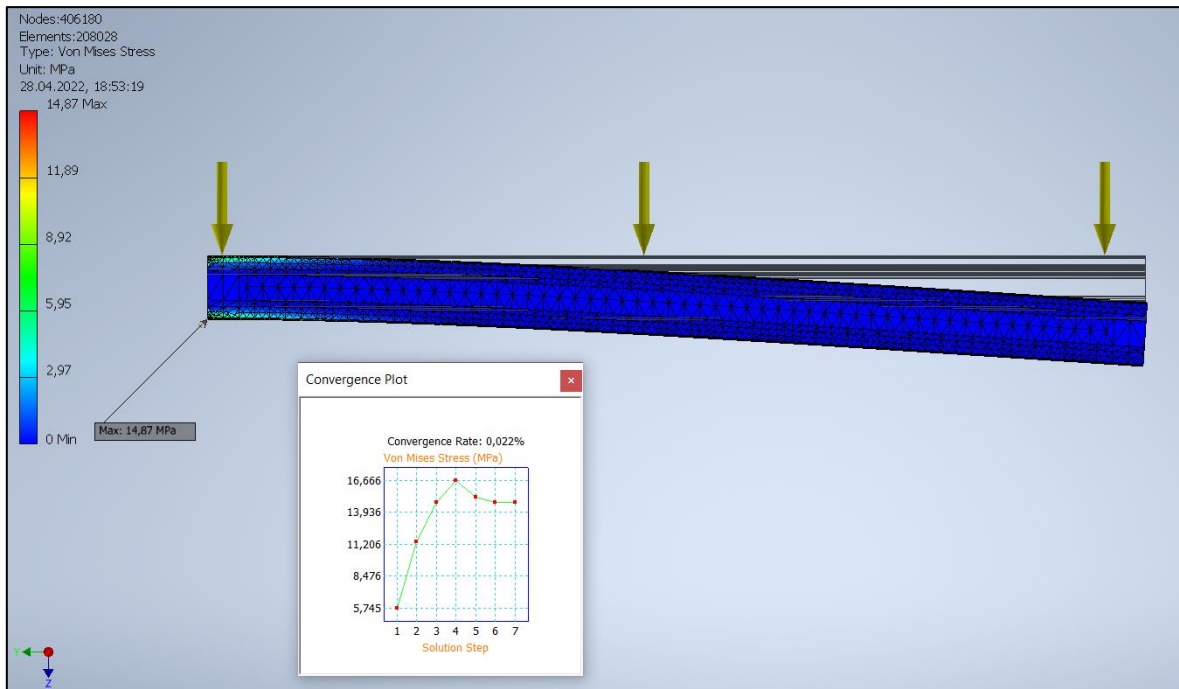
Joonis 5-6 klambrisüsteemi paaride paigutus

LEM tulemusest on näha, et deformatsioon 1,07 mm ei ületa ette antud deformatsiooni piiri 5 mm. (Joonis 5-7).



Joonis 5-7 LEM_Profiil 45x90_deformatsioon

LEM arvutusest saadud pinged 14,87 MPa ei ületa materjali suurimat lubatud pinget, materjali (EN-AW-6063 T66) voole piir on 180 MPa [10].

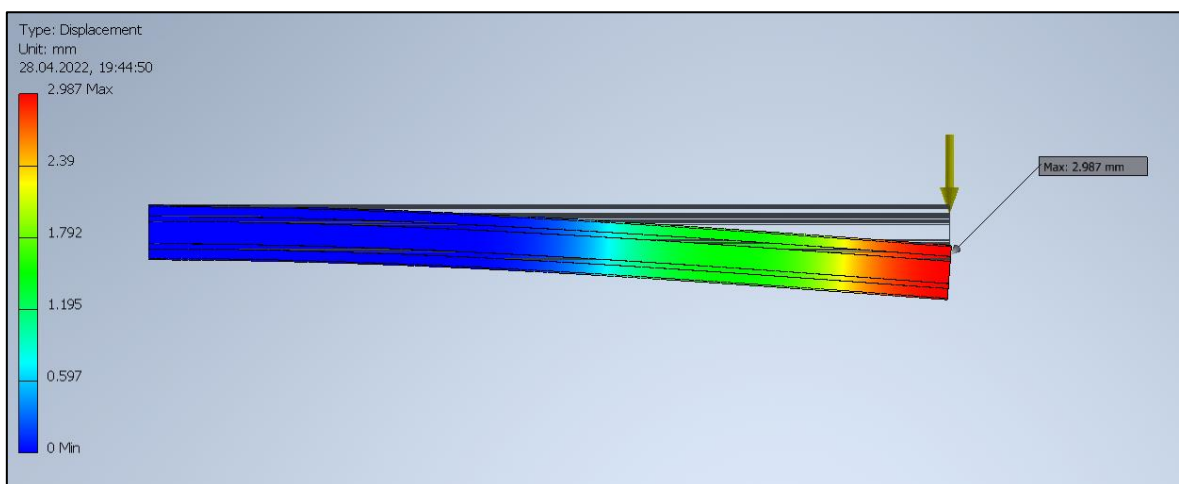


Joonis 5-8 LEM_Profiil 45x90_Pinged

LEM arvutused on võrreldud MINITEC deformatsiooni ja pinge kalkulaatoris [11]. Selleks, et koormus tingimused oleksid sarnased nii LEM arvutuses kui ka MINITEC kalkulaatoris, sai kogu koormus 300 N rakendatud profiili ühte otsa sarnaselt kalkulaatorile (Joonis 5-9) ning tulemused on väga sarnased. Kalkulaatoris valitud jõud $F = 300$ N mis rakendub profiili ühte otsa. Antud olukord on halvim, kuid tulemus jääb nõuete piiridesse milleks on maksimaalne lubatud deformatsioon 5 mm.

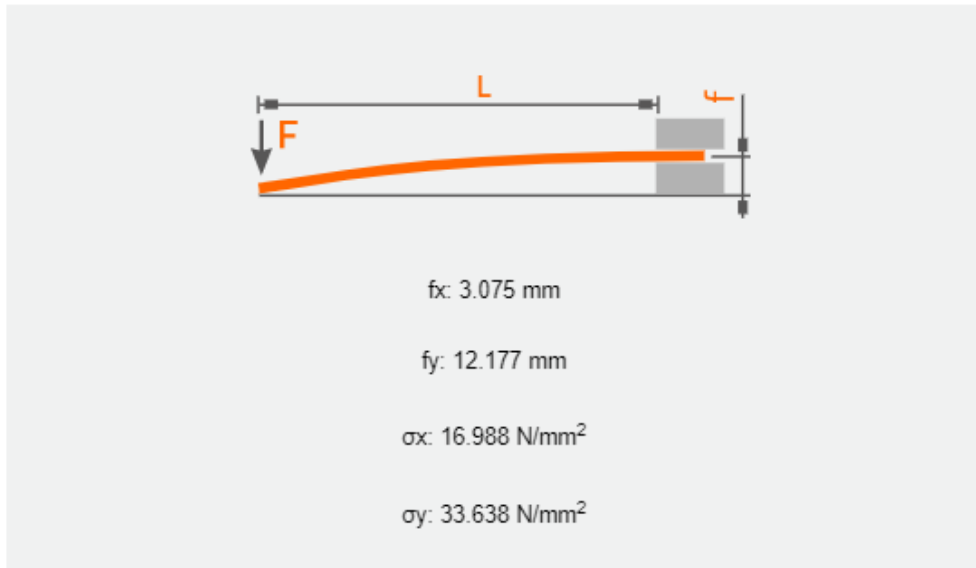
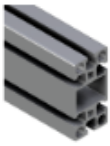
LEM arvutusest tulenev deformatsioon on 2,987 mm ja kalkulaatori arvutusest tulenev deformatsioon on 3,075 mm.

Kalkulaatoris [11] valitud jõud $F = 300$ N, mis rakendub profiili ühte otsa. Antud olukord on halvim, kuid tulemus jääb nõuete piiridesse.



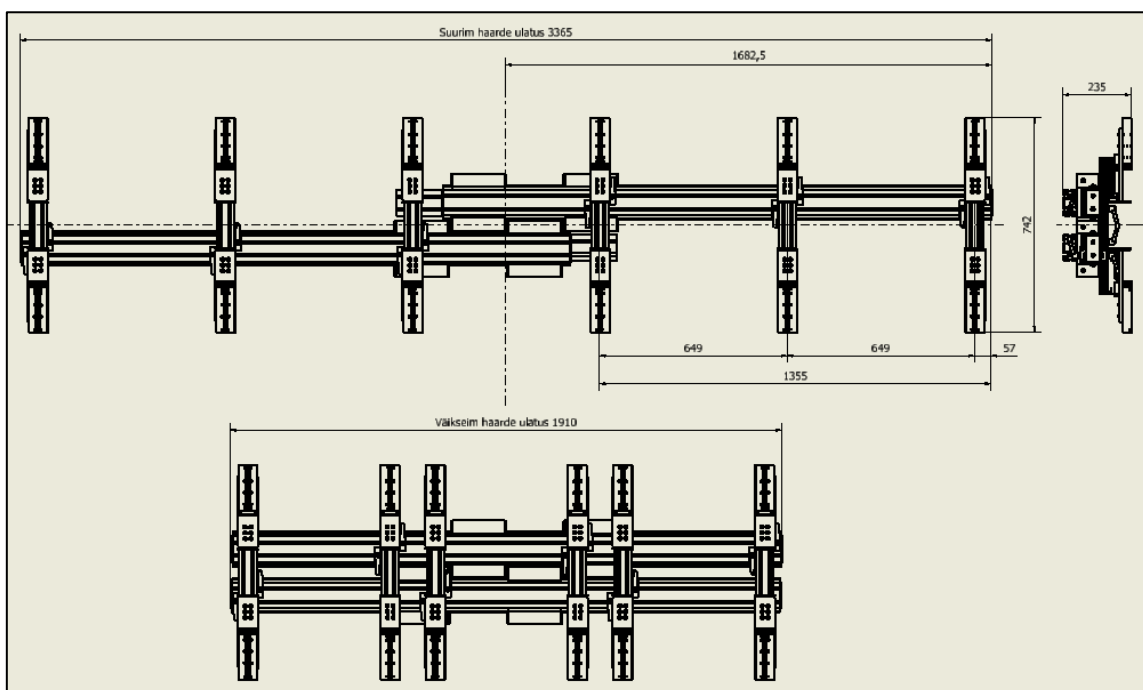
Joonis 5-9 võrdlus LEM_Profiil 45x90_deformatsioon

Profile 45x90



Joonis 5-10 Minitec deformatsiooni ja pinge kalkulaator [11]

Haaratsi klambrisüsteemi paare asendi reguleerimisel laiuses on kasutatud „Slide clamp unit LWGLWNLW“ (Joonis 5-5).



Joonis 5-11 Haaratsi süsteemi väikseim ja suurim haarde ulatus

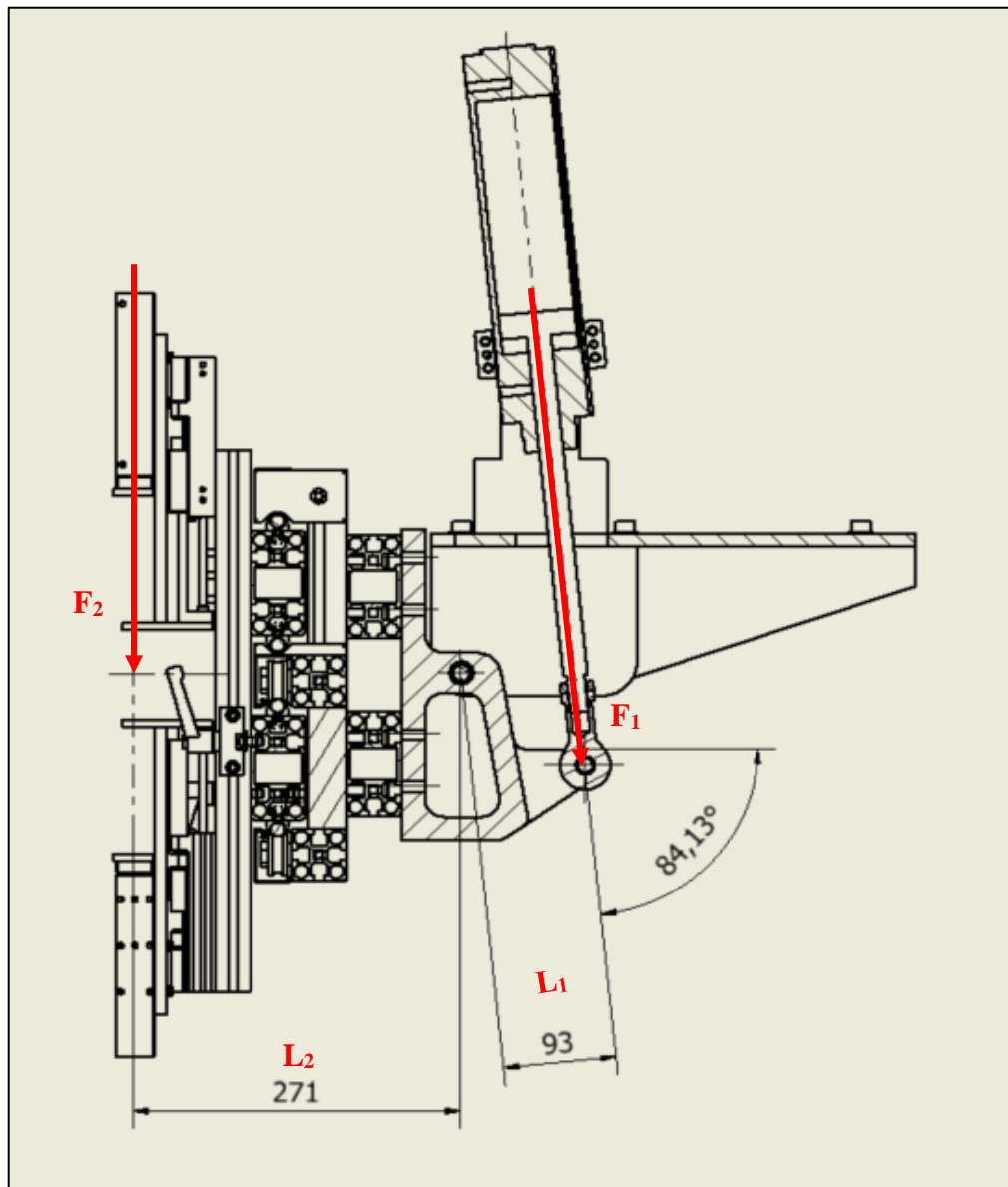
Kogu haaratsi süsteemi koostu mass on 65 kg. Väikseim haarde ulatus on 1910 mm. Suurim haarde ulatus on 3365 mm.

5.2 Haaratsi süsteemi pöörd liikumine

Vastavalt hindamismatriksile (Tabel 4-2) haaratsi pööramiseks 95-110° ulatuses parimaks lahenduseks on pneumaatiline või elektriline silinder.

5.2.1 Silindri valik pöörd liikumiseks

Selleks, et valida sobiv silinder „Lüli 2“ pööramiseks, tuleb arvutustes arvestada suurima mähise massiga, haaratsi süsteemi enda massi ja jõuõlaga. Jõudude skeem on näidatud (Joonis 5-12).



Joonis 5-12 Jõuõlad ja jõud pöörd sõlmel „Lüli 2“

Haaratsi (65kg) ja raskeima mähise (60 kg) mass 1250 N jaguneb võrdselt kahe pöördlüli vahel $1250/2 = 625$ N.

$$m_{mähis\ max} = 600\ N$$

$$m_{haarats} = 650\ N$$

$$F_2 = 625\ N$$

$$M_1 = M_2$$

$$L_1 = 0,093\ m$$

$$L_2 = 0,271\ m$$

$$m_{max} = m_{mähis\ max} + m_{haarats} = 600 + 650 = 1250\ N$$

$$F_2 = \frac{m_{max}}{2} = \frac{1250}{2} = 625\ N$$

Mõjuvad moment jõud on leitavad vastavalt valemile 5.1 :

$$M = F * L \quad 5.1$$

$$M_2 = m_{max} * L_2 = 625 * 0,271 = 169,4\ Nm$$

$$F_1 = \frac{M_2}{L_1} = \frac{169,4}{0,093} = 1821\ N$$

Kus:

F_1 – Silindri poolt avaldatav jõud pöörd sõlme pööramiseks

F_2 – Masside summa haaratsi süsteem ja mähis jagatud kaheks

M_1 - Moment jõud mis tekitab silindrist

M_2 - Moment jõud mis tekitab haaratsi süsteemi ja mähise massist

L_1 – Jõu õlg „silinder“

L_2 – Jõu õlg „mass“

m_{max} - Suurim pööratav mass

$m_{mähis\ max}$ - Suurim mähise mass

$m_{haarats}$ - Haaratsi mass

Vajaliku silindri kolvi läbimõõdu arvutamine:

$$F_1 = 1821\ N$$

$$P = 0,6\ MPa$$

Ringi pindala valem 5.2:

$$F = A * P \Rightarrow A = \frac{F}{P} \quad 5.2$$

$$A = \frac{1821}{0,6} = 3035,8\ mm^2$$

Kolvi raadiuse arvutamise valem 5.3:

$$A = \pi r^2 \Rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad 5.3$$

$$r = \sqrt{\frac{2768,3}{\pi}} = 31,1\ mm$$

Kolvi läbimõõt:

$$d = r * 2 = 31,1 * 2 = 62,2\ mm$$

Kus:

F_1 – Silindri poolt avaldatav jõud

A – Pindala

P – Rõhk

r - Kolvi raadius

d – Kolvi läbimõõt

Vastavalt arvutustele tuleb valida silinder mille kolvi väikseim läbimõõt on 62,2 mm.

Festo kataloogist sai valitud silinder „DSBC-63-200-D3-PPVA-N3“ (Joonis 5-13) mille kolvi läbimõõt on 63 mm. Antud konstruktiivses lahenduses on vajalik paigaldada kaks silindrit, kuna arvutused said tehtud ühe pöörd sõlme osale „Lüli 2“.



Joonis 5-13 silinder "DSBC-63-200-D3-PPVA-N3" [12]

Vastavalt tootja spetsifikatsioonile [12] töö rõhul 6 bar, silindri sisse liikumisel teoreetiline jõud on 1682 N ja välja liikumisel on 1870 N. Kolvi käigupikkus on valitud 200 mm.

Valitud silindrile saab paigaldada positsioneerimis anduri, mis võimaldab täpselt positsioneerida silindri käiku vastavalt vajadusele.

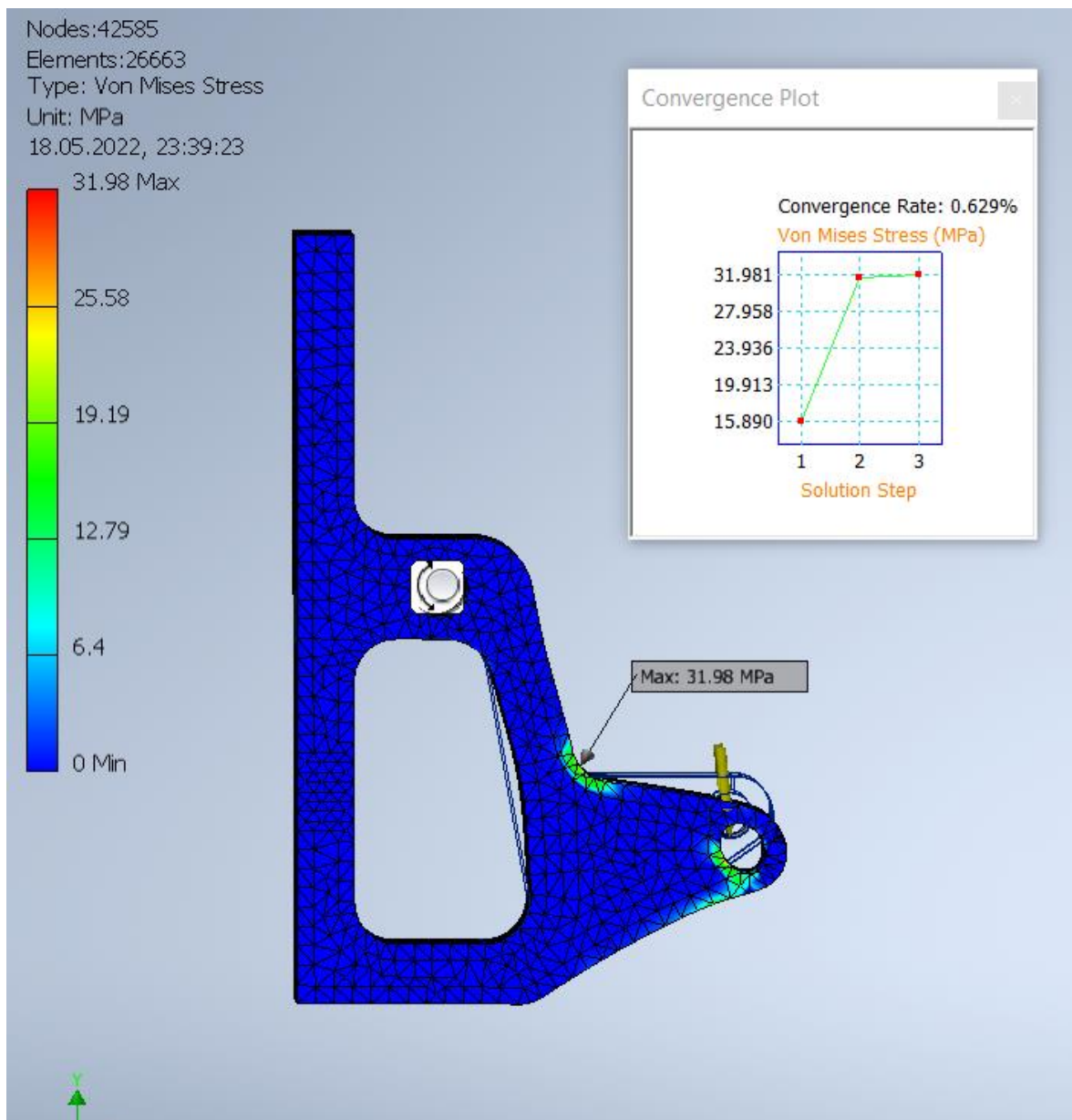
5.2.2 Pöörd sõlme „Lüli 2“ tugevus arvutus LEM

Tugevus arvutus sai teostatud „Lüli 2-le“ asendis, kus silindri ühendus liigendile rakendub suurim jõud. Arvutusel sai kasutatud suurim teoreetiline jõud 1870 N mida suudab silinder arendada rõhul 0,6 MPa.

Pöörd lüli on fikseeritud pöörd liigendiga „Pin Constraint“ mis võimaldab detailil vaid pöörlevat liikumist.

Silindrist tulenev jõud on rakendatud ühendus avale, jõu kontakt tüübiks on valitud „Bearing Load“ 1870 N. Jõu vektor on vastavalt halvimalle olukorrale, kus silinder asub lüli suhtes nurga all 84,13°.

Haaratsi süsteemi kinnitus pind on jäigalt fikseeritud „Fixed Constraint“.



Joonis 5-14 LEM "Lüli 2"

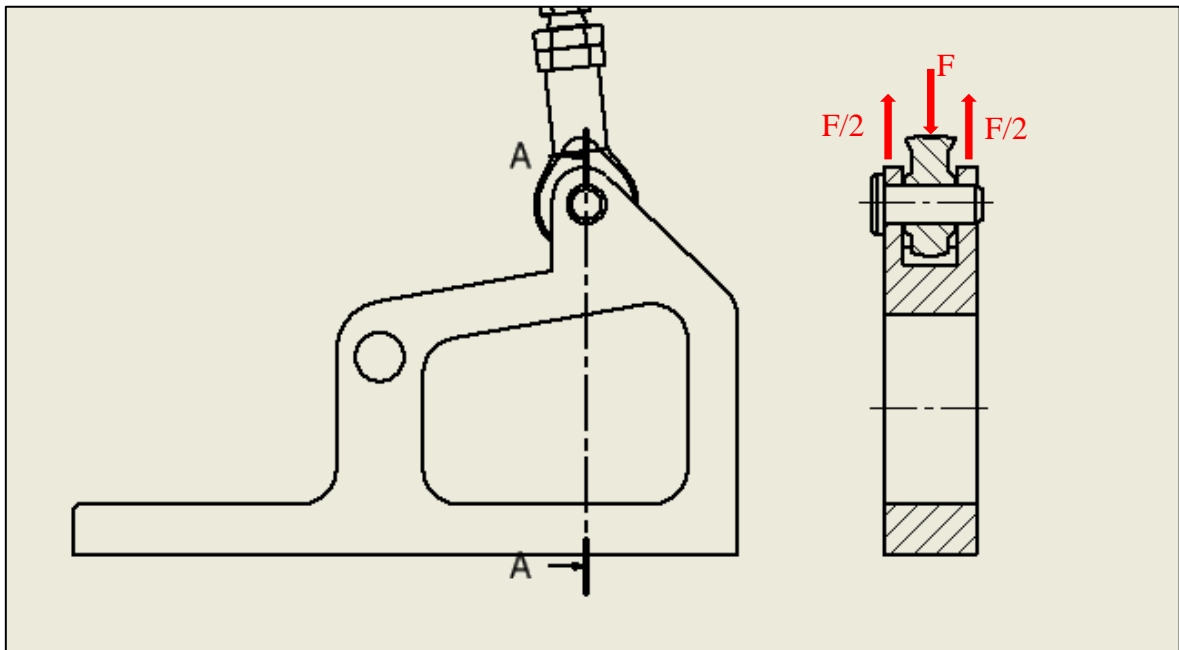
LEM arvutustest (Joonis 5-14) on näha, et suurim pinge on 31,98 MPa. Valitud materjali Al 6061 voolepiir on 275 MPa [13], seega varutegur on 8. Suurimad pinged asuvad kohtades, kus võis ka neid eeldada. Vähendamaks pingeid raadiuse alas võib suurendada raadiust ennast, kuid võttes arvesse varutegurit pole muudatused vajalikud.

5.2.3 Silindri ja pöörd-lüli sõrme ristlõike kontroll

Antud lõigus veendutakse, et kasutatavate sõrmede ristlõige on sobiv avaldatavale lõikepingele. Valitud silindri ja pöörd sõlme ühendus sõrme läbimõõt on 16 mm (vastavalt silindri kinnitus silmusele).

Lõikejõudude skeem on toodud (Joonis 5-15).

Kontroll arvutuse valemid on võetud Mehaanikainseneri käsiraamatust lk44 [14].



Joonis 5-15 Silindri ja pöörd-lüli sõrme lõikejõud

$$F = 1870 \text{ N}$$

$$R_e = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$V = 1,7$$

Ristlõike pindala arvutamise valem 5.4:

$$S = \pi r^2 \quad 5.4$$

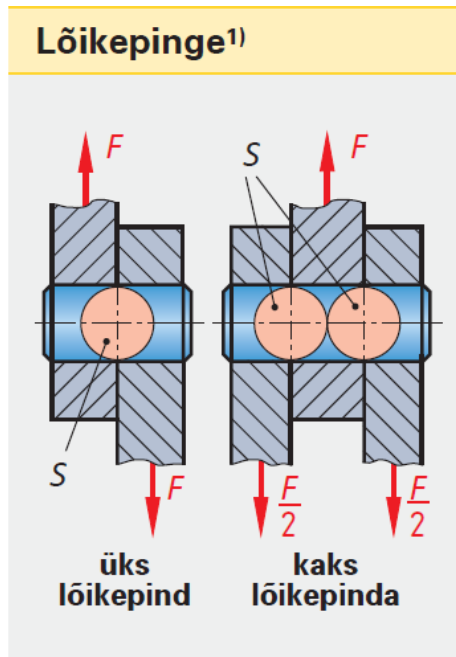
$$\pi * 8^2 = 201 \text{ mm}^2$$

Lõikepinged leitud vastavalt valemile 5.5:

$$T_s = \frac{F}{S} \quad 5.5$$

$$\frac{1870}{201} = 9,3 \text{ N/mm}^2$$

Kuna sõrm on pöörd-lülis kontaktis kahes avas, siis lõike pinna arvutusel tuleb arvestada et jõud avaldub võrdselt sõrme kahe ristlõike pindalale. Seega tuleb rakendatud jõud F jagada kaheks, nagu on toodud Mehaanikainseneri käsiraamatus [14] lk44 (Joonis 5-16).



Joonis 5-16 Lõikepingete arutamise skeem [14]

$$\frac{1870/2}{201} = 4,7 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{sY} T_{erasede} \approx 0,6 * Re = 0,6 * 355 = 213 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Lubatav lõikepinge leitav valemiga 5.6:

$$T_{sall} = \frac{T_{sY}}{V} \tag{5.6}$$

$$\frac{213}{1,7} = 125,29 \text{ N/mm}^2$$

Nõutav ristlõike pindala on leitav valemiga 5.7:

$$S_{req} = \frac{F}{T_{sall}} \tag{5.7}$$

F tuleb jagada kahega, vastavalt lõikepingete arvutus skeemile (Joonis 5-16):

$$\frac{1870/2}{125,29} = 7,46 \text{ mm}^2 = \varnothing 3,1 \text{ mm}$$

Kus:

F - Lõikejõud

T_{sY} – Voolepiir lõikel

R_e - Voolepiir

T_s - Lõikepinge

V – Varutegur

S – Ristlõikepindala

T_{sall} – Lubatav lõikepinge

S_{req} – Nõutav ristlõikepindala

Minimaalne nõutav sõrme läbimõõt peab olema 3,1 mm, seega kasutatava sõrme varutegur lõikepingele on 3.

5.3 Tõsteseadme positsioon ruumis

Vastavalt hindamismatriksile (Tabel 4–2) on valitud tõsteseadme kinnitus kergsildkraana vankrile. Valitud lahendus tagab suure teenindus ala ning ei tekita lisa takistust põranda pinnal. Kuna tootmis alas on juba olemas kergsildkraana siis selle arvelt saab säästa projekti maksumust.

5.3.1 Tõsteseadme silindri valik

Tõsteseadme vertikaalse liikumise tagamiseks sai valitud silinder. Antud sõlmes saab rakendada nii pneumaatilist kui ka elektrilist silindrit.

Pneumaatilise silindri kasutusel on olulisemaks eeliseks hind ja selle juhtimise lihtsus. Samas on pneumaatilisel silindril ka puuduseid mis otseselt puudutavad ohutust ja opereerimise täpsust. Juhul kui sõlmes on õhu lekke siis tekib oht iseeneslikule silindri liikumisele, samuti ka sõltuvalt tõstetavast koormusest muutub silindri liikumise kiirus ja täpsus.

Elektrilise silindri puhul on puuduseks hind, kuid eelistest võib välja tuua täpsuse, liikumise kiiruse kontrolli ning on välistatud iseeneslik silindri vajumine. Samuti, on võimalik programmeerida ka täpse kõrguse kerimispingist mähise maha võtmiseks.

Võttes arvesse mõlema silindri puuduseid ja eeliseid, sai valituks elektriline silinder.

Festo kataloogist sai valitud elektriline silinder „ESBF-BS-80-1500-32P“ käigupikkusega 1500 mm. Valitud silindri suurim jõud on 10 kN [15]. Kogu konstruktsiooni mass koos raskeima mähisega on ligikaudu 3,3 kN (330 kg vastavalt 3D mudelile).

Kõik lisakomponendid (elektriajam, kinnitusvahendid) on valitud Festo kataloogist vastavalt valitud silindrile.

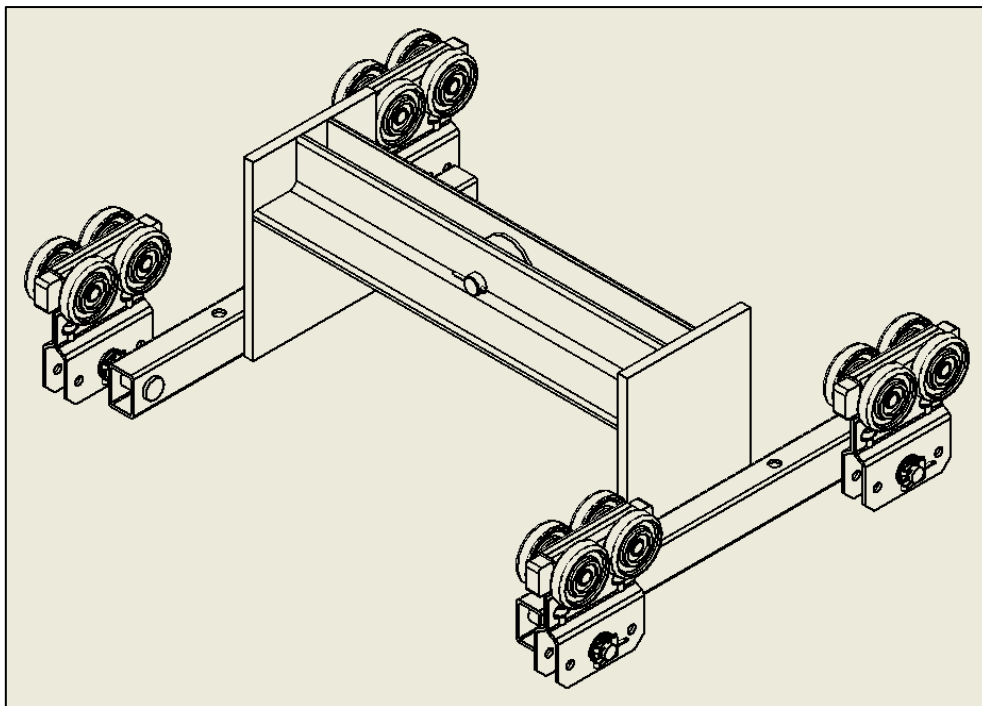
Antud silindri kanda jääb vaid silindri telje suunaline jõud.

5.3.2 Horisontaalselt liikumine töö ala ulatuses

Vastavalt hindamismatriksile on otsustatud manuaalse opereerimise kasuks. See tähendab, et operaator omal jõul liigutab tõsteseadet töö ala ulatuses X ja Y telgedel. Antud valik vähendab projekti maksumust ning vähendab vigastuste riske nii operaatorile kui ka tootele.

Veendumaks, et kogu süsteemi käsitsi liigutamisel X ja Y telgedel ei pea operaator rakendama suurt füüsilist jõudu, on teostatud veerehõõrdumise arvutused.

Kogu konstruktsiooni mass koos mähisega on 3,3 kN, mis jaguneb kaheksa ratta paari vahel (Joonis 5-17).



Joonis 5-17 Kraana vanker (Mudel koostatud EKV OÜ poolt)

Veerehõõrdumise arvutamisel on kasutatud valemit Mehaanikainseneri käsiraamatust lk38 [14].

$$F_N = 3300 \text{ N}$$

$$F_F = 0,5$$

$$d = 82 \text{ mm}$$

$$f = 0,5$$

Veerehõõrdetegur leitav Mehaanikainseneri käsiraamatust lk38 [14]. Tabelis oli kõige sobilikum veerehõõrdeteguriks teras/teras. Tootja poolt puuduvad vastavad andmed.

Hõõrdejõud on leitav valemiga 5.8:

$$F_F = \frac{f * F_N}{r} \quad 5.8$$

$$\frac{0,5 * 3300}{41} = 40,2 \text{ N}$$

Kus:

F_N - Normaaljõud

F_F - Hõõrdejõud

d - Läbimõõt

r - Raadius

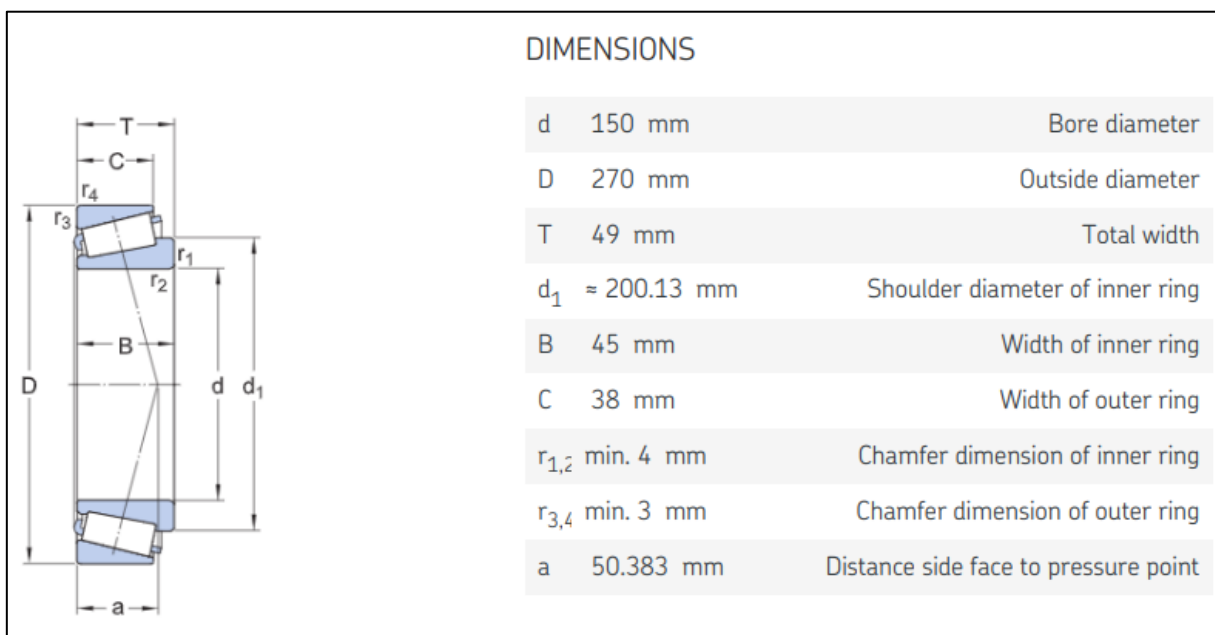
f - Veerehõõrdetegur

Saadud tulemus 40,2 N veeretakistus on piisavalt väike kuid teoreetiline ning täpsed tulemused on saadavad katsetuste teel.

5.3.3 Tõsteseadme pööramine ümber vertikaalse telje

Vastavalt hindamismatriksile (Tabel 4–2) on otsustatud manuaalse opereerimise kasuks. See tähendab, et operaator omal jõul pöörab tõsteseadet ümber oma telje. Antud valik vähendab projekti maksumust ning vähendab vigastuste riske nii operaatorile kui ka tootele.

Kuna pöörd sõlmele avaldub ka X ja Y telje suunaline külgjõud, sai valitud rull koonuslaager, mis võtab vastu koormust nii radiaal kui ka aksiaal suunas. Valituks osutus „SKF 30230“ oma mõõtmete poolest (Joonis 5-18).



Joonis 5-18 "SKF 30230" [16]

Vastavalt valitud laagrite ja kerg-sildkraana vankritele sai projekteeritud laagri korpus koos kinnitusplaadiga. Antud etapis tuli arvestada kraana vankri konstruktsiooni ja gabariitidega. Oluline oli jälgida, et kokkuvõttes oleks antud sõlm koostatav.

5.4 Tõsteseadme poltliited

Poltliited arvutatud kõige suurema koormusega sõlmele, milleks on 4 polti millega on kinnitatud elektriline silinder. Antud arvutus omab kontrolli eesmärki, veendumaks, et silindri tootja poolt konstrueeritud ühendusliigendi poldid on sobilikud ja omavad piisavalt suurt varuregurit. Kogu raskus jõud 3300 N tulenev seadme ja tõstetava mähise massist on vaid silindri kanda.

Vaadeldavas poltliites koormus poldidele on ainult teljesihiline. Antud liite arvutusel on kasutatud lihtsustatud arvutust vastavalt Mehaanikainseneri käsiraamatus toodud valemitele lk226 [14].

Keermes liidete arvutuse eesmärgiks on poldi ohutu telgkoormuse F_o määrang ning lihtsustatud arvutusmeetodi kasutamisel on kasutatud tugevusvaru 2,5. Koormus jaotub võrdselt nelja poldi vahel, seega ühele poldile mõjuv jõud on 825 N.

$$F_o = \frac{3300}{4} = 825 \text{ N}$$

$$R_e = 640 \text{ N/mm}^2 \text{ Omadusklass 8.8}$$

Lubatav tõmbepinge on leitav valemiga 5.9:

$$\sigma_{all} = \frac{R_e}{V} \quad 5.9$$
$$\frac{640}{2,5} = 256 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik ristlõikepindala on leitav valemiga 5.10:

$$S = \frac{F_o}{\sigma_{all}} \quad 5.10$$
$$\frac{825}{256} = 3,2 \text{ mm}^2$$

Nõutav voolepiir on leitav valemiga 5.11:

$$R_{e \text{ req}} \geq 1,5 * \sigma_p \quad 5.11$$

$$1,5 * 280 = 420 \text{ N/mm}^2 < R_e$$

Valitud polt DIN 6912 M10 tugevusklassiga 8.8 on antud sõlmes sobilik ning omab piisavat varu.

Kus:

F_o – Töökoormus, N

R_e – Voolepiir, N/mm²

σ_{all} – Lubatav tõmbepinge, N/mm²

$R_{e \text{ req}}$ – Nõutav voolepiir, N/mm²

S – Arvutuslik ristlõikepindala, mm²

Valitud polt DIN 6912 M8 tugevusklassiga 8.8 on antud sõlmes sobilik ning on piisava ristlõike varuteguriga.

5.5 Vankri kinnitusraam

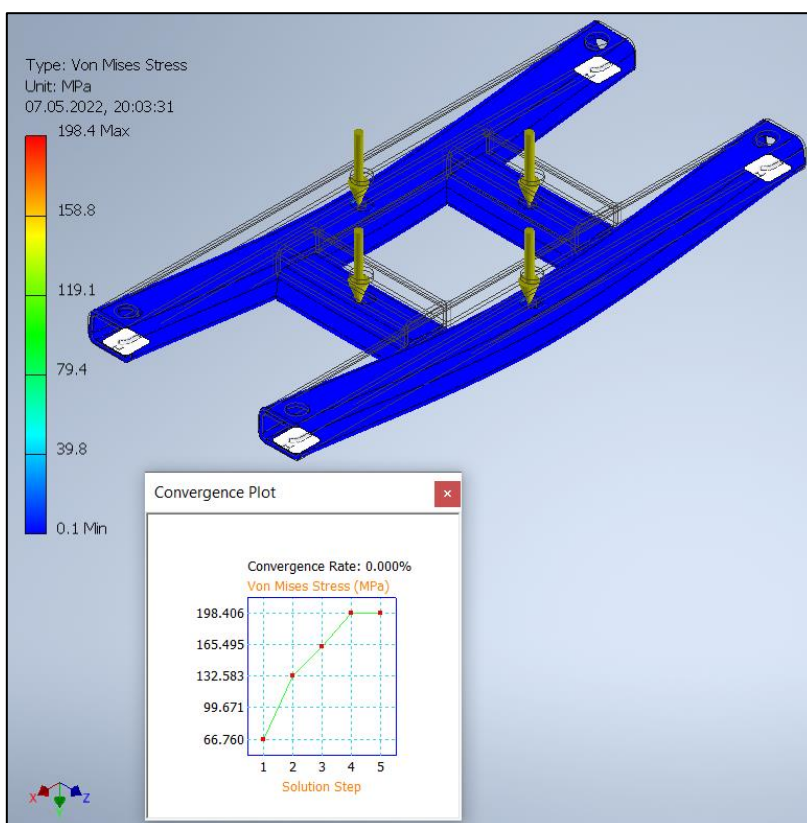
Tõsteseadme ühendamiseks vankriga sai projekteeritud kinnitusraam.

Materjaliks on kasutatud riskülik toru 60x40x5 mm S355 J2H.

Konstruksiooni LEM tugevus arvutusel on konstruktsioon jäigalt kinnitatud vankri kinnitus avadest ning jõud 3300N (kogu seadme mass koos mähisega) rakendatud laagrikorpuse kinnitus avadele.

LEM tulemused näitavad, et suurim pinge on 198,4 MPa (Joonis 5-19) ning asub polt liite ava servas pinge kontraatorina. Antud pingekontsentraatorit võib mitte arvestada, kuna reaalsuses pinged kanduvad seibile mis tagab suurema pingete jaotise. Antud konstruktsioon omab vähemalt kahekordset varutegurit.

Samuti on ka kraana vanker (Joonis 5-17) koostatud Eesti Kraanavabriku poolt konstruktsioon terasest mille kandev ramm on koostatud riskülik torust 40x 60x 4 mm. ning antud konstruktsioon on arvestatud kandma massi kuni 500 kg.

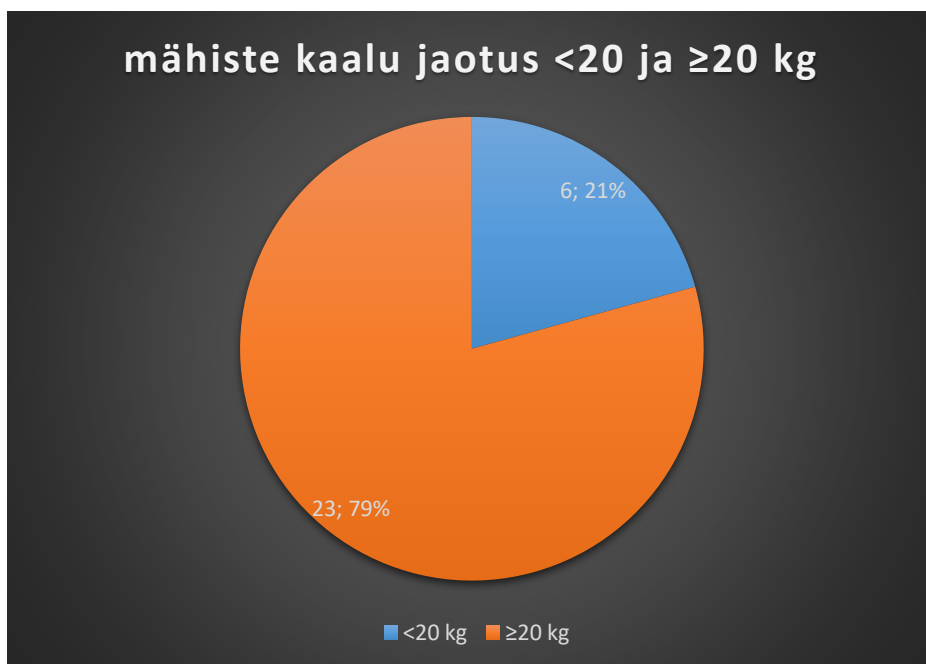


Joonis 5-19 Vankri kinnitusraam

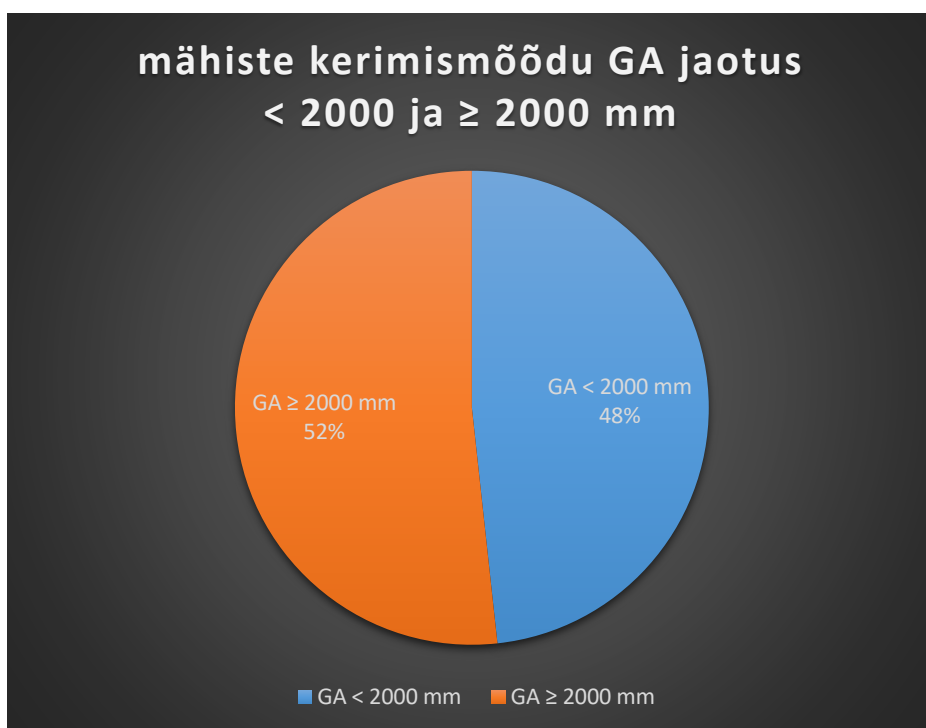
6 SEADME TASUVUSE ANALÜÜS

Ühes vahetuses, sõltuvalt projekti parameetritest, keritakse kuni 100 mähist. Ühte mähist tõstetakse kaks korda, kerimisingilt abilauale ja abilaualt transpordi kärule.

Manipulaatori kasutamise vajadusega mähiste osakaal vastavalt mähiste massile on 80% (Joonis 6-1) toote variatsioonist.



Joonis 6-1 Mähiste kaalu jaotus diagramm



Joonis 6-2 Mähiste kerimismõõdu GA jaotus diagramm

Tõsteseadme hõivatuse arvutamisel on arvestatud kahe töövahetusega ning vastavalt toodete parameetrite variatsioonile on kasutuse koefitsient K 0,8.

Kasumlikkuse arvutusel on võetud arvesse tööpäevade arvu aastas 2022, kahe operaatori vajaduse koefitsient sõltuvalt mähiste parameetritest ning ligikaudne operaatori palgafond (Tabel 6–1).

Tabel 6–1 Tõsteseadme hõivatuse arvutus

tööpäevi aastas 2022	255	päev
vahetuste arv päevas	2	vah
kasutuse koefitsient	0,8	k
Mähiste arv vahetuses kuni	100	tk
tõste tsükli kestvus	1-2	min
Tõsteid mähise kohta	2	korda
Ligikaudne tööandja palgafondi kulu	13,38	eurot/t

Keskmine tööandja palgafondi kulu on 13,38 eurot/t.

Töötades kahes vahetuses on aastas ligi 4080 töötundi (255päeva*8tundi*2vahetust).

Arvutamaks abitöölise vajadust töötundides, korrutan saadud töötunnid kasutuse koefitsiendiga 0,8.

$$4080*0,8=3264 \text{ (abitöölise töötundi aastas)}$$

Tulenevalt keskmisest palgafondist 13,38 eurot /t, on aasta kulud abitöölisele 43682 eurot.

Kui aga arvestada puhtalt tööprotsessile kuluvat töö aega ,1 tõstetsükkel 2 minutit, tulemused on järgmised. 255 tööpäeva*2vahetut*100 mähist*2minutit*0,8 kasutuse koefitsient, saame tulemuseks 81600 minutit aastas, mis on 1360 tundi aastas abitöölise aja kulu. Ning rahaline kulu on 18196 eurot aastas.

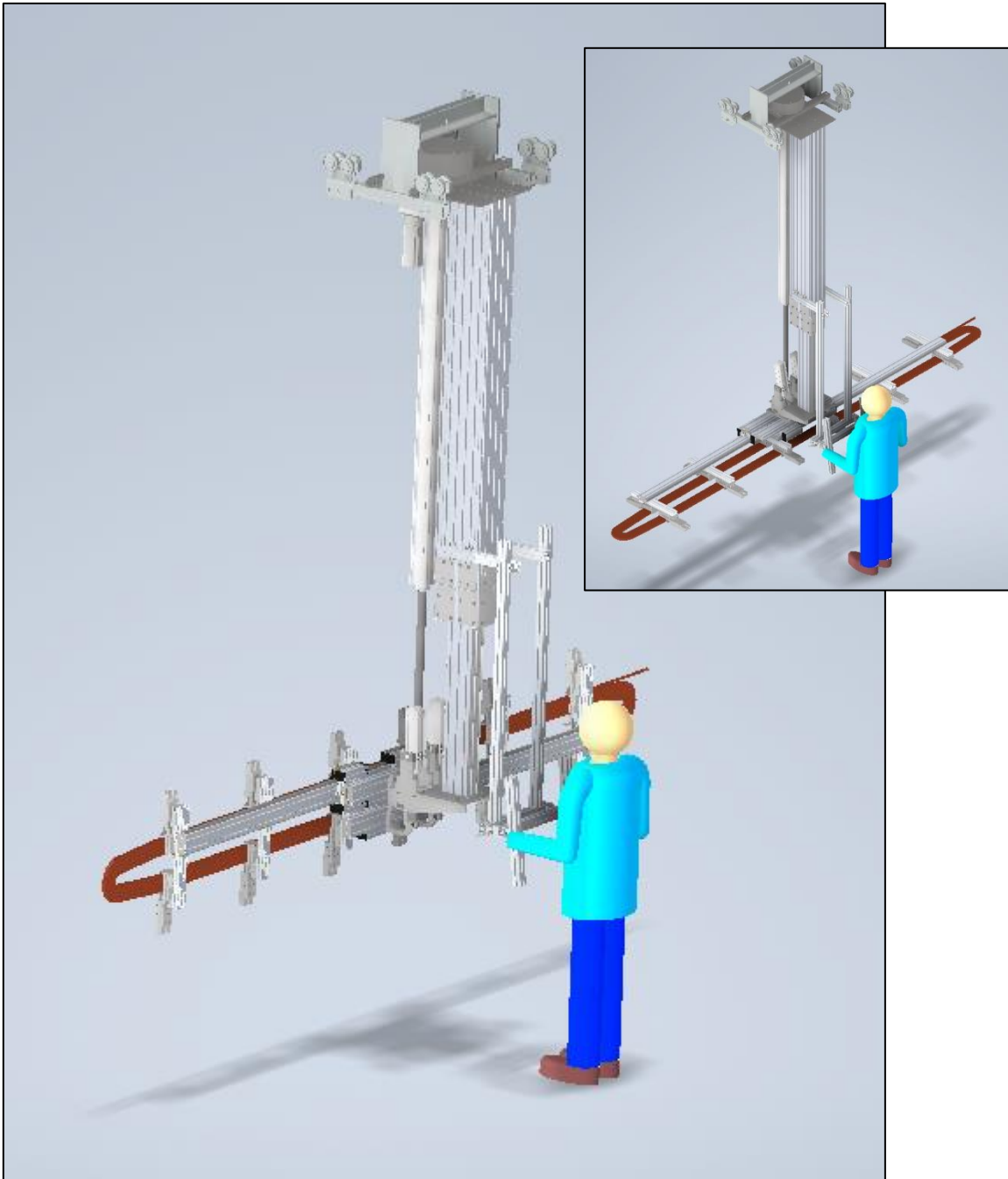
$$1360*13,38=18196 \text{ eurot aastas.}$$

Potentsiaalne rahaline sääst on vähemalt 18196 eurot aastas. Antud arvutus ei sisalda potentsiaalseid kulutusi seoses operaatori töövõimetusega (haigestumine) ning kvaliteedi kuludega, mis võivad tekkida mähiste isolatsiooni vigastustest.

Kuna antud töö etapis puuduvad hinnad komponentidele ning juht süsteem pole välja töötatud, ei saa teha täieliku tasuvuse analüüsi. Kindlalt saab öelda, et antud lahendusel on potentsiaali ning arvestades tööjõu turul toimuvat tendentsi, on abi seade igati vajalik.

7 MANIPULAATORI OPEREERIMINE

Antud lõigus on lühidalt kirjeldatud manipulaatori seadistamine ning selle töö põhimõtte.



Joonis 7-1 Manipulaatori ja operaaatori mudel

Haaratsite haarde ulatus (mähise pikkus) klambrisüsteemid(mähise pikkus)

Haaratsite haarde ulatus on manuaalselt reguleeritav. Positsioon on hõlpsasti fikseeritav kiirlukustiga. Vabastades lukusti, operaator seadistab haaratsi pikkuse vastavalt mähise pikkusele ning seejärel fikseerib kiirlukustid. Järgmise sammuna operaator manuaalselt

seab sobivasse positsiooni klambrisüsteemi paarid, jälgides, et paaride vaheline kaugus oleks võimalikult võrdne, see tagab ühtlase mähise toetuse.

Klambrisüsteemi avatud ja suletud asendi seadistamine

Operaatori kasutada on ka PLC ekraan, kus saab sisemise silindri seadistada vastavalt keritud mähisele sisemise mõdule avatud positsiooni ning suletud positsiooni.

Opereerimine

Seadmel on ette nähtud kahe käe opereerimis süsteem, mis tähendab, et operaator peab seadme käitamiseks vajutama korraga kahte nuppu.

Nupud asuvad juhtkangil, vastavalt üks rida nuppe on vasakul pool ja teine rida nuppe on paremal pool. Antud lahendus oluliselt vähendab juhusliku seadme käitamist.

Manipulaatori liigutamiseks on kaks nupu paari, vastaval 1 paar langetamiseks ning 1 paar tõstmiseks.

Haaratsi pöörd liikumiseks (kallutamiseks) on vastavalt 1 paar nuppe pööramiseks vertikaal asendisse võtmaks mähise kerimisingist ja teine paar nuppe pööramiseks horisontaal asendisse paigaldamiseks mähised kärule.

Haaratsite rakendamiseks on vastavalt 1 paar nuppe haaratsite sulgemiseks, et kindlalt haarata mähis ning teine paar nuppe on haaratsite avamiseks.

KOKKUVÕTE

Antud magistri töö eesmärgiks oli välja töötada abisüsteem, mis võimaldaks mähiste kerimispingi operaatoril üksinda teisaldada keritud mähiseid mille pikkus on 2-4 m ning massiga kuni 60 kg. Antud lahendus võimaldab säästa liigseid tööjõu kulusid ning minimiseerida tervise kahjustuse riske.

Esmalt sai analüüsitud mähiste massi ja pikkuse variatsiooni ning koostatud tõsteseadme nõuete loetelu vastavalt mähiste parameetrite variatsioonile.

Järgneva sammuna oli välja pakutud erinevad tehnilised lahendused ja koostatud morfoloogiline skeem. Morfoloogilise skeemi ja nõuete loetelu põhjal sai koostatud hindamistabel millest sai aluseks tõsteseadme mehaanilise kontseptsiooni ja lahenduse väljatöötamisel.

Seadme väljatöötamine toimus mitmes etapis järk järgult. Esimeseks vaadeldavaks sõlmeks sa haaratsi süsteem ise, kuna antud sõlm dikteerib enamuse parameetreid (nii gabariidid kui ka mass) järgnevatele sõlmedele.

Teise sõlmena sai väljatöötatud pöörd liigend „Lüli 2“. Antud peatükkis 5.2 tuli keskenduda silindri valikul vastavalt projekteeritud haaratsi ja suurima mähise massile. Antud etapis sa pöörd liigend ka lõpliku kuju ja asendi.

Vertikaalse liikumiseks sai valitud elektriline silinder ohutuse ja stabiilse liikumise tagamiseks. Silinder kannab ainult vertikaalset koormust ning külgkoormust ja momente võtab vastu vertikaalne juhtliigend mis sai koostatud Minitec alumiinium komponentidest.

Tagamaks maksimaalse töö ala, väljatöötatud tõsteseade kinnitatakse kerg-sildkraana vankri külge, mille suurim lubatud töökoormus on 500 kg. Kogu seadme enda mass koos raskeima mähisega on ligikaudu 330 kg.

Kontrollarvutused on tehtud tähtsamatele sõlmedele ning poltliidetele.

Antud lõputöös on kasutatud võimalikult palju standard elemente nagu silindrid (Festo), alumiinium profiilid ja liugurid (Minitec), laagrid (SKF) ning poldid.

Juhtimis moodul töötatakse välja koos ABB AS koostööpartneriga, ning eesmärk on väljatöötatud tõsteseade võtta kasutusse aastal 2022 talv.

SUMMARY

The master's thesis aimed to develop an auxiliary system, which allows an operator of the looping machine to remove looped coils with a length of 2-4 meters and mass up to 60 kg oneself.

The present solution permits to reduce of excessive human resources costs and minimizes risks of health hazards.

Initially, the variance of the coil's mass and length were analyzed and according to the parameter's variance, the demand list for the lifting machine was compiled.

Further, different technical solutions were proposed and morphologic scheme was composed. Based on morphologic scheme and demand list, the cost table was compiled, which became a foundation for further lifting machine mechanism and solution development.

Device development was performed in a few stages step-by-step. The first considered unit was the gripper system itself, as this unit dictates most of the parameters (both overall dimensions and mass) for the next unit.

Rotatable joint „Lüli 2“ was designed as a second unit. In chapter 5.2, the focus was on cylinder choice, in accordance with the designed gripper and bigger coil's mass. In this phase rotatable joint got the final shape.

An electrical cylinder was chosen for vertical motion to provide safety and stable movement. The cylinder can be exposed only with vertical load and vertical jointer, which were done from Minitec aluminum components assuming side load and moment.

In ensuring maximum working zone, the developed lifting machine fastens to a light-bridge crane, for which the maximum allowed lifting load is 500 kg. The whole device mass including the heaviest coil is approximately 330 kg.

Control computation was performed for main joints and bolt connections.

Mainly standard elements were used in this project, such as cylinder (Festo), aluminum profiles and sliders (Minitec), bearing (SKF), and bolts.

The Control system is developing in collaboration with ABB partner and the goal is to take the lifting machine into use in the winter of 2022.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] terviseamet.ee, „Kutsehaigestumine ja tööst põhjustatud haigestumine 2020. aastal,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.terviseamet.ee/sites/default/files/Tervishoid/kh_ja_tph_2020.pdf. [Kasutatud 25 02 2022].
- [2] ABB, „ABB internal documentation_Coil spreading calculation S03_3AFP9401040,“ ABB. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 17 02 2022].
- [3] Movomech, „<https://www.movomech.com/product/pneumatic-mechlift-pro/>,“ Movomech, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.movomech.com/product/pneumatic-mechlift-pro/>. [Kasutatud 10 02 2022].
- [4] Movomech, „<https://www.movomech.com/product/mechspace-pro/>,“ Movomech, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.movomech.com/product/mechspace-pro/>. [Kasutatud 10 02 2022].
- [5] Movomech, „<https://www.movomech.com/product/liftdrive-lifting-trolleys/>,“ Movomech, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.movomech.com/product/liftdrive-lifting-trolleys/>. [Kasutatud 10 02 2022].
- [6] „festo.com,“ Festo, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.festo.com/ee/en/search/?text=DGST-16-80-Y12A>. [Kasutatud 09 05 2022].
- [7] „festo.com,“ Festo, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.festo.com/ee/en/search/?text=DFM-16-100-B-PPV-A-KF>. [Kasutatud 09 05 2022].
- [8] „www.minitec.de,“ Minitec, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.minitec.de/en/product/slide-lw-90>. [Kasutatud 09 05 2022].
- [9] „www.minitec.de,“ Minitec, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.minitec.de/en/product/slide-clamping-unit-top-lwg-lwn-lw>. [Kasutatud 09 05 2022].
- [10] „matmatch.com,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://matmatch.com/materials/braz026-en-aw-6063-t66>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [11] „www.minitec.de,“ Minitec, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.minitec.de/en/product/profile-45-x-90?breadcrumb=%5B%7B%22label%22%3A%22Home%22%2C%22href%22%3A%22%2Fen%2F%22%7D%2C%7B%22label%22%3A%22Products%22%2C%22href%22%3A%22%2Fen%2Fproducts%22%7D%2C%7B%22label%22%3A%22Profile%20system%22%2C%22href%22%22>. [Kasutatud 09 05 2022].
- [12] „www.festo.com,“ Festo, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.festo.com/ee/en/a/3657871/?q=DSBC-63-200-D3-PPVA-N3~:festoSortOrderScored>. [Kasutatud 09 05 2022].
- [13] „www.mathweb.com,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mathweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=b8d536e0b9b54bd7b69e4124d8f1d20a&ckck=1>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [14] T. R. M. H. C. S. R. K. A. S. V. M. A. S. S. O. F. W. Roland Gomeringer, Mehaanikainseneri käsiraamat, TalTech, 2021.

- [15] Festo, „www.festo.com,“ FESTO, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.festo.com/ee/en/a/574091/?q=574091~:festoSortOrderScored&identCode1=ESBF-BS-80-1500-32P>. [Kasutatud 01 05 2022].
- [16] SKF, „skf.com,“ SKF, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.skf.com/au/products/rolling-bearings/roller-bearings/tapered-roller-bearings/single-row-tapered-roller-bearings/productid-30230>. [Kasutatud 07 05 2022].

LISA 1 Toodete variatsioon

GA/mm	DT/mm	d/mm	Q/mm	hst/mm	bst/mm	mass/kg
1482,4	45	90	144	15,5	48,9	21
1532	30	90	105	12	26,4	9
1532,8	30	90	105	12	26,4	9
1580,3	40	90	252	12,5	48	18
1667,1	30	90	126	16	34,8	17
1673	30	90	90	14,44	28,26	13
1737	40	90	72	19,2	38,47	24
1754	40	90	90	13,7	36,98	16
1780	40	90	72	19,6	39,95	26
1883,1	45	90	168	16,5	52	30
1883,1	45	90	168	16,5	52	30
1886	40	90	72	18,2	36,98	24
1908	35	90	84	17,5	40,4	25
1934	40	90	72	17,7	37	23
2018	40	90	72	19,1	37,67	27
2037	40	90	72	19,1	38,46	28
2040	40	90	144	19,5	52	38
2057	45	90	126	15,99	39,04	24
2062	45	90	72	19,1	37,62	27
2076,7	40	90	108	15,5	44,9	27
2076,7	40	90	108	15,5	44,9	27
2076,8	40	90	108	15,5	44,9	27
2083	40	90	384	14,28	43,32	24
2093	40	90	72	19,5	40,04	30
2139	40	90	72	18,9	40,54	30
2188,9	45	90	144	15,5	48,9	31
2229	40	90	72	18,9	40,54	31
2282	40	90	72	19	39,68	32
2777	50	90	84	21	56,95	61

LISA 2 Nõuete loetelu

Nr.	Nõuete loetelu	tähis	Ühik	Arvsuurus	Nõude kaal
1.	Parameetrilised nõuded				
1.1.	Tõstevõime	m	kg	≥60	5
1.2.	Mähise pikkus	Ga	mm	2000-4000	4
1.3.	Tõstekiirus	v	mm/sec	5-10	3
1.4.	tööulatus	A	m ²	15	4
1.5.	Mähise tõstmine vertikaal suunas (telg „Tz”)	h	mm	1500	5
1.6.	Pöörde nurk Telg „Rz”	Rz	°	±180	4
1.7.	Mähise pööramine vertikaal suunas ümber „Rx” telje	Rx	°	95-110	4
1.8.	Ajamites kasutada el.toide (ACvõi DC)	U	V	12-230	4
1.9.	Seadme kasutus keskkond IP_kaitseaste	IP		≥22	3
2.	Mehaanilised nõuded				
2.1.	Haaratsite telje läbipaine	-	mm	<5	4
2.2.	Haaratsi süsteemi vahetamisele (vajadusel) kuluv aeg	-	min	<15	2
3.	Nõuded käsitlemisel				
3.1.	Haaratsite pikkuse mitte manuaalne reguleerimine	-	-	-	2
3.2.	Haaratsi põse vahemiku reguleerimine vastavalt mähisele mitte manuaalne	-	-	-	2
3.3.	Väljastatud kontrollimatu osade liikumine	-	-	-	5
4.	Nõuded inimese, ühiskonna ja keskkonna kohta				
4.1.	Ohutus (Vastavus CE normatiividele)	CE	-	CE	5
4.2.	Lihtne kasutamine	-	-	-	2
4.3.	Kasutamine ühe operaatoriga	-	-	-	5
4.4.	Kasutamise sagedus	t/a	t	≈423	
5.	Nõuded kulutuse kohta				
5.1.	Toote maksumus	€	eur	<30000	3

GRAAFILINE OSA

Järjekorra number	Joonise nimetus	Joonise tähis	Lehe suurus
1	Manipulaator	MAN 00.00.00	A2
2	Haaratsi koost	HAR 01.00.00	A2
3	Profile 45x90_L765	HAR 01.00.01	A2
4	Haaratsi vertikaalne haru_koost	HAR 01.02.00	A2
5	20.09940_Profile 30x60	HAR 01.02.01	A2
6	Haaratsisilindrite koost	HAR 01.02.02	A3
7	ühendusplaat haaratsi silindritele	HAR 01.02.02.01	A3
8	haaratsi tald ülemine	HAR 01.02.02.03	A4
9	haaratsi tald sisemine	HAR 01.02.02.02	A4
10	Lüli_1 Koost	PLU 06.00.00	A2
11	Lüli_haarats	PLU 06.00.04	A3
12	Plaat	PLU 06.00.05	A3
13	Kõrv_lüli	PLU 06.00.02	A3
14	kõrv_lüli_luhike	PLU 06.00.03	A3
15	Ühenduslüli LNZG-32	PLU 06.00.01	A3
16	võll D14 lukustusplaadiga	PLU 06.01.00	A4
17	võll D14	PLU 06.01.01	A4
18	Lukustus kõrv	PLU 06.01.02	A4
19	Manipulaatori vertikaalne sõlm_UA	MVS 05.00.00	A3
20	Manipulaatori vertikaalne sõlm_ülemine osa	MVS 05.01.01	A3
21	Profile 90x135_L2000_slider	MVS 05.02.00	A3
22	ühendus plaat samba liugurile (1/2)	MVS 05.01.02	A3
23	ühendus plaat samba liugurile (2/2)	MVS 05.01.02	A3
24	Vankri kinnitusraam	VKR 03.01.00	A3
25	DIN EN 10219-2 - 60 x 40 x 5 - 710	VKR 03.01.01	A3
26	DIN EN 10219-2 - 60 x 40 x 5 - 180	VKR 03.01.02	A3
27	Vanker kinnitusraamiga	VKR 03.00.00	A2
28	vankri laagri pesa	VKR 03.00.01	A3
29	Laagri katte	VKR 03.00.03	A3
30	laagri muhv	VKR 03.00.02	A3
31	Handle	HAN 04.00.00	A3
32	manipulaatori pöördplaat	PPL 02.00.00	A3
33	ülemine pöördplaat	PPL 02.00.01	A3
34	laagri südamik D150	PPL 02.00.02	A3